



**TESIS - ME142516**

**PERANCANGAN STATIC PHASE CONVERTER UNTUK MOTOR  
LISTRIK PENGGERAK KINCIR TAMBAK UDANG DENGAN  
MEMANFAATKAN TENAGA SURYA DI ACEH**

**DARMAWAN**

**04211650010001**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Dr. EDDY SETYO KOENHARDONO, S.T., M.Sc.**

**Ir. AGOES ACHMAD MASROERI, M.Eng., D.Eng**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**



**TESIS – ME142516**

**PERANCANGAN *STATIC PHASE CONVERTER*  
UNTUK MOTOR LISTRIK PENGGERAK KINCIR  
TAMBAK UDANG DENGAN MEMANFAATKAN  
TENAGA SURYA DI ACEH**

**DARMAWAN  
4216201001**

**DOSEN PEMBIMBING**

**DR. EDDY SETYO KOENHARDONO, ST., M.Sc  
Ir. AGOES ACHMAD MASROERI, M.Eng., D.Eng**

**PROGRAM MAGISTER  
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh  
Darmawan  
NRP. 4216201001

Tanggal Ujian : 18 Juli 2018  
Periode Wisuda : September 2018


**Disetujui oleh :  
Dosen Pembimbing;**

1. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc  
NIP. 19680701 199512 1 001
2. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng  
NIP. 19580807 198403 1 004



**Dosen Penguji;**

1. Dr. Aguk Zuhdi M.Fatallah, M.Eng  
NIP. 19560519 198610 1 001
2. I Made Ariana, ST, MT, Ph.D  
NIP. 19710610 199512 1 001
3. Dr. Benny Cahyono, ST, MT  
NIP. 19790319 200801 1 008



Pelaksana Tugas Dekan Fakultas Teknologi Kelautan,

Prof. Ir. Arif Djunaidy, M.Sc., Ph.D  
NIP. 19581005 198603 1 003

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PERANCANGAN *STATIC PHASE CONVERTER* UNTUK MOTOR  
LISTRIK PENGGERAK KINCIR TAMBAK UDANG DENGAN  
MEMANFAATKAN TENAGA SURYA DI ACEH**

Nama mahasiswa : Darmawan  
NRP : 4216201001  
Pembimbing : DR. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc  
Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng

**ABSTRAK**

Dalam usaha budidaya udang jenis kincir air (*paddle wheel*) yang paling banyak digunakan pada umumnya adalah jenis kincir air dengan penggerak motor listrik tiga fasa, namun pada daerah-daerah tertentu sumber listrik yang tersedia hanya sumber listrik satu fasa. Sehingga pengoperasian motor listrik tiga fasa pada sistem listrik satu fasa sangat dibutuhkan.

Pada penelitian ini telah dilakukan eksperimen mengenai perancangan *static phase converter* yang dapat merubah listrik satu fasa menjadi tiga fasa untuk menjalankan motor listrik penggerak kincir tambak udang dan dipadukan dengan memanfaatkan tenaga surya sebagai energi alternatif pada tambak udang di Aceh.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa perancangan *static phase converter* berhasil diterapkan dengan menggunakan *capasitor starting* sebesar 60  $\mu$ F dan *capasitor running* sebesar 25  $\mu$ F. Ketika dipadukan dengan menggunakan tenaga surya sebagai energi alternatif maka model yang paling ekonomis adalah menggunakan sistem *On-Grid* dimana listrik diperoleh dari solar sistem dan PLN. Kebutuhan komponen solar sistem pada model ini adalah 12 buah panel surya dan 1 buah inverter *On-Grid*. BEP akan diperoleh dalam waktu 2.65 tahun dengan penjualan total sebesar Rp 816,702,156. Nilai NPV pada tahun ke-10 dengan tingkat bunga diskonto 5% sebesar Rp. 318,405,630. Jika menggunakan *converter* dengan PLN tanpa panel surya diperoleh BEP dalam waktu 1.66 tahun dengan nilai NPV pada tahun ke-10 sebesar Rp. 535,180,556.

**Kata kunci:** Tambak udang *intensif*, *Static Phase Converter*, *Induction motor*, Panel surya sistem *On-Grid*, Panel Surya sistem *Off-Grid*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DESIGN OF STATIC PHASE CONVERTER TO OPERATED PADDLE WHEEL AERATORS COMBINED WITH UTILIZING SOLAR POWER FOR SHRIMP FARMING IN ACEH**

By : Darmawan  
Student Identity Number : 4216201001  
Supervisor(s) : DR. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc  
Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng

## **ABSTRACT**

Commonly, paddle wheel aerator that widely used in shrimp farming is using a type of paddle wheel aerator with three-phase electric motor drive. However, in certain areas, the available power source is only a single-phase power source. So, with that conditions, the operation of three-phase electric motors on a single-phase electrical system is needed.

In this research, experiments was conducted about the design of *static phase converter* which can convert single phase electricity into three phases. This research aims to operate an electric motor as a driving paddle wheel aerator and combined with utilizing solar power as an alternative energy for shrimp ponds in Aceh.

The results showed that the three phase induction motor as prime mover of paddle wheel aerator can be operated by using of start capacitor 60  $\mu$ F and running Capacitor 25  $\mu$ F. When its combined using solar power as an alternative energy, the most economical model to use is the On-Grid system, where electricity is obtained from the solar system and PLN. The requirements of the solar system components in this model are 12 solar panels and 1 On-Grid inverter. BEP will be obtained within 2.65 years with total amounts Rp 816,702,156. NPV at the 10<sup>th</sup> year with 5% discount rate of Rp. 318.405.630. when the paddle wheel operated using static phase converter and PLN without solar system BEP will be obtained within 1.66 years and NPV at 10<sup>th</sup> years with 5% discount rate of Rp. 535,180,556.

**Keywords** : Intensif shrimp farming, Static Phase Converter, Induction motor, On-Grid solar system, Off-Grid solar system.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT atas rahmat, nikmat dan taufik-Nya, sehingga penyusunan tesis yang berjudul “Perancangan *Static Phase Converter* Untuk Motor Listrik Penggerak Kincir Tambak Udang Dengan Memanfaatkan Tenaga Surya Di Aceh” dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyelesaian tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Badan Riset dan Sumberdaya Manusia Kelautan dan Perikanan Kementerian Kelautan dan Perikanan yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan tugas belajar di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Bapak DR. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc dan Bapak Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan motivasi selama penyusunan tesis ini.
3. Kepala SUPM Ladong Aceh yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan tugas belajar di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak DR. Raja Oloan Saut Gurning, ST, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan motivasi selama mengikuti perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menimba ilmu di bidang sistem perkapalan.
6. Kepala Laboratorium Marine Electrical dan Automation System Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc yang telah membatu memfasilitasi dalam penggunaan sarana dan prasarana laboratorium pada penelitian ini.
7. Kepala unit asrama dan staf yang telah memberikan ijin dan membantu dalam melaksanakan uji coba peralatan dilingkungan asrama.

8. Rekan-rekan Mahasiswa Pascasarjana angkatan 2016 Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
9. Rekan-rekan Mahasiswa Pascasarjana peserta tugas belajar Kementerian Kelautan dan Perikanan RI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah banyak membantu secara moril dan materil.
10. Istri tercinta Sri Untari Puji Rejeki dan anak tersayang Kayla Safina Darmawan yang telah banyak memberikan support baik secara materil dan spiritual selama pelaksanaan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki kekurangan dan perlu pengembangan lebih lanjut. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan masukan dan saran untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Darmawan

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGANTAR ..... i

DAFTAR ISI ..... iii

DAFTAR GAMBAR ..... vii

DAFTAR TABEL ..... ix

BAB 1 PENDAHULUAN.....1

1.1. Latar Belakang.....1

1.2. Perumusan Masalah.....2

1.3. Tujuan.....3

1.4. Manfaat.....3

1.5. Batasan Masalah.....3

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....5

2.1. Kincir Air (*Paddle Wheel*).....5

2.2. Motor Penggerak Kincir Tambak.....5

2.2.1. Mesin Diesel.....6

2.2.2. Motor Listrik .....7

2.3. *Converter* Listrik Satu Fasa Menjadi Tiga Fase.....12

2.3.1. *Static Phase Converter*, .....12

2.3.2. *Rotary Phase Converter* .....16

2.3.3. *Phase Converting Variable Frekuensi Drives (VFD)*.....17

2.3.4. *Digital Phase Converter*.....18

2.4. Energi Matahari .....	18
2.4.1. Sel Surya ( <i>Photovoltaic Cell</i> ) .....	19
2.4.2. Jenis Sel Surya .....	20
2.4.3. Potensi Energi Matahari di Aceh .....	21
2.5. Analisa Ekonomi.....	22
2.5.1. Harga Produk ( <i>Selling Price</i> ).....	22
2.5.2. <i>Break Event Point</i> (BEP) .....	23
2.5.3. NPV ( <i>Net Present Value</i> ).....	24
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1. Tahapan Pengerjaan Penelitian .....	25
3.2. Studi Lapangan .....	26
3.3. Perhitungan Kebutuhan Mesin Aerasi .....	28
3.4. Rancang Bangun <i>Static Phase Converter</i> .....	29
3.4.1. Persiapan Alat .....	30
3.4.2. Persiapan Kincir.....	35
3.4.3. Persipan Motor Listrik .....	38
3.5. Uji Performa.....	39
3.6. Perhitungan Panel Surya .....	40
3.7. Analisa Teknis dan Ekonomis .....	40
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1. Hasil Perancangan Static Phase Converter .....	41
4.1.1. Hasil Pengujian <i>Static Phase Converter</i> .....	46
4.2. Pemanfaatan Energi Matahari.....	50
4.2.1. Perhitungan Sistem Off-Grid .....	53
4.2.2. Perhitungan sistem <i>On-Grid</i> .....	60

4.3. Analisa Ekonomis.....	63
4.3.1. Harga Produk.....	63
4.3.2. BEP ( <i>Break Event Point</i> ).....	64
4.3.3. NPV ( <i>Net Present Value</i> ) .....	71
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	<b>77</b>
5.1. Kesimpulan.....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>79</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>83</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>97</b>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Kincir dengan penggerak mesin diesel .....	6
Gambar 2-2 Skema kumparan dan tegangan motor listrik tiga fasa .....	7
Gambar 2-3 Kincir dengan penggerak motor listrik .....	7
Gambar 2-4 Konstruksi Motor Induksi .....	8
Gambar 2-5 Pelat nama motor listrik tiga fasa.....	10
Gambar 2-6 Sambungan bintang pada motor listrik tiga fasa.....	11
Gambar 2-7 Sambungan segitiga motor listrik tiga fasa.....	11
Gambar 2-8 Skema fasa synthetic menurut hiware 2017.....	13
Gambar 2-9 Gambar sambungan <i>static phase converter</i> menurut Scheda .....	13
Gambar 2-10 Gambar sambungan <i>static phase converter</i> menurut Al-turki.....	14
Gambar 2-11 Gambar sambungan <i>static phase converter</i> menurut Anthony.....	14
Gambar 2-12 Rangkaian <i>Rotary Phasa Converter</i> .....	16
Gambar 2-13 <i>Rotary Phasa Converter</i> dan <i>Idle Motor</i> .....	16
Gambar 2-14 <i>Variable Frequency Drives</i> .....	17
Gambar 2-15 <i>Digital Phase Converter</i> .....	18
Gambar 2-16 Bagian – bagian panel surya .....	20
Gambar 2-17 Struktur harga jual produk .....	22
Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian .....	25
Gambar 3-2 Tambak tradisional di Aceh Besar .....	26
Gambar 3-3 Tambak <i>intensif</i> .....	26
Gambar 3-4 Ketersediaan Sumber listrik.....	27
Gambar 3-5 Pengaturan letak kincir di tambak.....	29
Gambar 3-6 Skema <i>static phase converter</i> .....	30
Gambar 3-7 <i>Multimeter</i> .....	32
Gambar 3-8 <i>Tachometer</i> .....	33
Gambar 3-9 <i>Clampmeter</i> .....	34
Gambar 3-10 <i>Infrared Thermometer</i> .....	35
Gambar 3-11 Spesifikasi motor listrik yang digunakan.....	36



Gambar 3-12 <i>Gearbox</i> .....	37
Gambar 3-13 Pelampung .....	37
Gambar 3-14 Daun kincir .....	38
Gambar 3-15 Kincir Tambak.....	38
Gambar 3-16 Motor sambungan bintang (Y) .....	39
Gambar 3-17 Motor sambungan segitiga ( $\Delta$ ) .....	39
Gambar 4-1 <i>Wiring diagram Static Phse Converter</i> .....	41
Gambar 4-2 Hasil perancangan <i>static phase converter</i> .....	45
Gambar 4-3 Bentuk sinyal yang dihasilkan <i>static phase converter</i> .....	45
Gambar 4-4 Pengujian kincir dengan fluida udara.....	46
Gambar 4-5 Pengujian kincir di kolam uji .....	47
Gambar 4-6 Grafik peningkatan suhu motor listrik .....	49
Gambar 4-7 Skema sistem <i>Off-Grid</i> .....	50
Gambar 4-8 Skema system <i>On-Grid</i> .....	51
Gambar 4-9 Lama Penyinaran rata-rata Matahari selama tahun 2017 .....	52
Gambar 4-10 Rangkaian Batterai .....	56
Gambar 4-11 Rangkaian panel surya pada sistem pengisian batterai .....	58
Gambar 4-12 Rangkain sistem supply panel surya <i>Off-Grid</i> .....	59
Gambar 4-13 <i>On-Grid Inverter</i> Sungrow SG5KTL-D.....	61
Gambar 4-14 Rangkaian Panel Surya sistem <i>On-Grid</i> .....	62
Gambar 4-15 Grafik BEP Usaha dengan panel surya sistem <i>Off-Grid</i> .....	65
Gambar 4-16 Grafik BEP Usaha dengan panel surya sistem <i>On-Grid</i> dan PLN ..	67
Gambar 4-17 Grafik BEP usaha dengan menggunakan generator .....	69
Gambar 4-18 Grafik BEP usaha dengan <i>converter</i> dan PLN .....	71
Gambar 4-19 Nilai NPV usaha pembesaran udang .....	75

## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Temperatur maksimum yang diizinkan berdasarkan kelas insulasi .....	12
Tabel 2-2 Lama Penyinaran Matahari di Aceh Tahun 2017 .....	21
Tabel 3-1 Peralatan yang digunakan dalam melakukan eksperimen. ....	30
Tabel 3-2 Spesifikasi <i>Multimeter</i> .....	31
Tabel 3-3 Spesifikasi <i>Tachometer</i> .....	32
Tabel 3-4 Spesifikasi <i>Digital Clampmeter</i> .....	33
Tabel 3-5 Spesifikasi <i>Infrared Thermometer</i> .....	34
Tabel 3-6 Spesifikasi Motor Listrik .....	35
Tabel 3-7 Spesifikasi Gearbox .....	36
Tabel 4-1 Hasil Pengukuran Tegangan Tanpa Beban .....	47
Tabel 4-2 Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Fluida Udara .....	48
Tabel 4-3 Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Fluida Air .....	48
Tabel 4-4 Hasil pengukuran suhu motor listrik .....	49
Tabel 4-5 Kebutuhan Energi Listrik Selama Satu Siklus .....	53
Tabel 4-6 Rencana penggunaan sistem baterai .....	54
Tabel 4-7 Kebutuhan komponen pada sistem <i>Off-Grid</i> .....	58
Tabel 4-8 Struktur Pembentuk Harga <i>Converter</i> .....	63
Tabel 4-9 Analisa usaha dengan solar panel sistem <i>Off-Grid</i> .....	64
Tabel 4-10 Analisa usaha dengan solar panel sistem <i>On-grid</i> dan PLN .....	66
Tabel 4-11 Analisa usaha dengan menggunakan generator .....	68
Tabel 4-12 Analis usaha menggunakan <i>converter</i> dengan listrik PLN .....	69
Tabel 4-13 Analisa NPV usaha dengan solar panel sistem On-Grid .....	72
Tabel 4-14 Analisa NPV usaha dengan solar panel sistem <i>On-Grid</i> dan PLN .....	72
Tabel 4-15 Analisa NPV usaha dengan Generator .....	73
Tabel 4-16 Analisa NPV dengan <i>Converter</i> dan PLN .....	74

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Salah satu usaha perikanan yang sedang berkembang saat ini adalah usaha budidaya udang. Dalam melakukan usaha budidaya ini dapat menggunakan beberapa jenis sistem budidaya diantaranya sistem budidaya tradisional/ *ekstensif*, sistem budidaya *intensif* dan sistem budidaya *semi intensif*.

Sistem budidaya tradisional adalah sistem budidaya yang dilakukan dengan memanfaatkan pakan alami yang ada di kolam tersebut, tanpa ada penambahan pakan buatan sama sekali. Udang ditebar di kolam alami (kolam tanah) dan dibiarkan begitu saja hingga udang tersebut siap dipanen. Biaya produksi yang diperlukan untuk budidaya dengan sistem *ekstensif* ini sangat rendah, karena pembudidaya hanya memerlukan biaya awal untuk membeli benih udang kemudian udang tersebut dibiarkan berkembang sendiri tanpa campur tangan manusia, perlakuan tertentu dan penggunaan teknologi (Murachman *et al*, 2010).

Sistem budidaya *intensif* merupakan sistem budidaya yang menggunakan teknologi yang cukup maju. Menurut Prihatman (2000) ciri-ciri tambak udang *intensif* yaitu: memiliki luasan yang kecil antara 0,2-0,5 ha/petak. Petak kolam terbuat dari beton keseluruhan atau dinding terbuat dari plastik. Menggunakan sistem aerasi untuk menambahkan suplai oksigen terlarut (*DO*). Biaya yang dibutuhkan juga sangat besar karena selain untuk pengadaan sarana dan prasarana juga untuk membeli pakan buatan yang jumlahnya tidak sedikit.

Sistem budidaya *semi intensif* merupakan sistem budidaya peralihan, yaitu peralihan antara budidaya tradisional dan budidaya *intensif* (Prihatman, 2000). Dengan sistem ini pemeliharaan udang sudah menggunakan sedikit sentuhan teknologi yaitu berupa penggunaan aerasi dan tambahan pakan buatan.

Usaha budidaya udang dengan menggunakan sistem budidaya *semi intensif* merupakan teknologi budidaya yang cocok untuk pembudidaya udang skala kecil karena kebutuhan sarana dan prasarana produksi tidak begitu banyak. Manajemen pengelolaan tambak *semi intensif* juga tidak terlalu rumit karena padat penebaran benur/benih tidak terlalu tinggi dan kebutuhan pakan tidak sepenuhnya mengandalkan pakan buatan.

Dalam menjalankan budidaya sistem *semi intensif* maka penggunaan kincir air (*paddle wheel*) menjadi kebutuhan yang wajib digunakan agar kandungan oksigen tetap terpenuhi. Tenaga penggerak kincir air tersebut dapat menggunakan mesin diesel atau motor listrik. Motor listrik yang paling banyak digunakan sebagai tenaga penggerak kincir pada umumnya adalah dari jenis motor induksi tiga fasa, tetapi tidak semua daerah telah terpasang jaringan listrik tiga fasa, ada daerah-daerah tertentu yang hanya memiliki sistem sumber daya satu fasa. Sehingga pengoperasian motor listrik tiga fasa pada sistem listrik satu fasa sangat dibutuhkan. Dengan latar belakang tersebut maka penulis mencoba melakukan perancangan konverter satu fasa menjadi tiga fasa untuk motor listrik penggerak kincir tambak udang dan dipadukan dengan memanfaatkan tenaga surya sebagai energi alternatif pada tambak udang di Aceh.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membuat *static phase converter* untuk menggerakkan kincir yang menggunakan motor listrik tiga fasa?
2. Berapa kebutuhan panel surya bila digunakan sebagai sumber tenaga dalam menggerakkan kincir di tambak udang?
3. Bagaimana analisa teknis dan ekonomis dari alat yang dirancang?

### **1.3. Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Merancang bangun *Static phase converter* untuk menggerakkan kincir.
2. Mengetahui kebutuhan panel surya yang akan digunakan sebagai sumber tenaga dalam menggerakkan kincir di tambak udang.
3. Mengetahui analisa teknis dan ekonomis dari alat yang telah dirancang bangun.

### **1.4. Manfaat**

Diharapkan dengan penelitian ini alat yang dirancang dapat beroperasi secara normal dalam mengoperasikan motor listrik tiga fasa pada sistem listrik satu fasa dan pada saat tertentu dapat memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi untuk menggerakkan kincir di tambak udang.

### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan agar penelitian ini dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah petambak udang di daerah pesisir Propinsi Aceh.
2. Motor listrik yang digunakan sebagai tenaga penggerak kincir adalah motor listrik 3 fasa 1 HP, 220/380 V, 50 Hz.
3. Untuk uji ketahanan kincir akan dilakukan selama 30 hari tanpa berhenti.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kincir Air (*Paddle Wheel*)**

Menurut Khalifa *et al*, (2013) penambahan udara dalam air tambak diperlukan untuk meningkatkan kadar oksigen dalam air tambak. Penambahan udara ini dapat dilakukan dengan menggunakan kincir air yaitu peralatan mekanis yang berfungsi untuk meningkatkan nilai oksigen yang masuk ke dalam air.

Kincir air merupakan salah satu sarana yang memiliki peran yang sangat penting dalam menciptakan kondisi yang nyaman dan aman bagi udang di tambak. Secara umum fungsi dari kincir air di dalam operasional tambak udang adalah sebagai berikut (Khalifa *et al*, 2013):

1. Sebagai penyuplai oksigen di dalam perairan tambak. Dalam suatu ekosistem perairan tambak kebutuhan oksigen telah disuplay oleh phytoplankton, tapi kebutuhan oksigen tersebut tidak akan mencukupi bagi biota dan proses-proses yang terjadi didalamnya.
2. Membantu dalam proses pencampuran karakteristik antara perairan tambak lapisan atas, dan bawah. Perbedaan karakteristik perairan tersebut, jika tidak segera diantisipasi dapat membahayakan kehidupan udang yang ada didalamnya.
3. Membantu dalam proses pemupukan air. Kegiatan pemupukan air dilakukan sebagai upaya pembentukan kualitas air yang terkait dengan kecerahan air dan warna air tambak dengan cara menstimulasi pertumbuhan phytoplankton kearah yang lebih stabil.
4. Membantu dalam mengarahkan kotoran dasar tambak ke arah sentral pembuangan, sehingga memudahkan dalam proses pembersihan dasar tambak.

#### **2.2. Motor Penggerak Kincir Tambak**

Tenaga penggerak kincir air yang sering digunakan pada kegiatan budidaya adalah mesin diesel atau motor listrik. Pemilihan jenis tenaga penggerak ini disesuaikan dengan kondisi di lokasi tambak.



### 2.2.1. Mesin Diesel

Mesin diesel adalah jenis mesin pembakaran dalam yang sering digunakan karena memiliki efisiensi pembakaran yang baik dari jenis mesin pembakaran dalam lainnya karena memiliki rasio kompresi yang sangat tinggi (Takaishi *et al*, 2008). Mesin diesel juga memiliki kehandalan yang tinggi dengan biaya operasional yang relatif murah.

Kincir yang digerakkan oleh mesin diesel biasanya menggerakkan beberapa daun kincir dalam satu poros karena mesin diesel yang tersedia dengan ukuran terkecil adalah antara 7 – 26 HP. Sistem ini dikenal juga dengan sebutan kincir *long arm*. Mesin diesel dengan daya 8 HP yang dioperasikan menggunakan *reducer* putaran dengan rasio 1 : 40 mampu untuk memutar daun kincir secara berangkai antara 10 – 15 daun kincir (Baliao & Tookwinas, 2002).

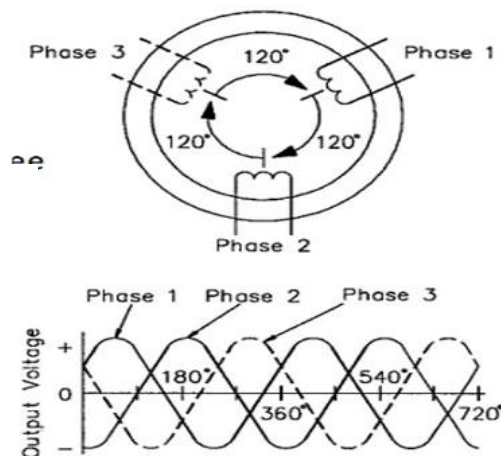
Kincir jenis *long arm* ini dapat mencakup permukaan air yang lebih luas dan dapat secara cukup mengaerasi dan mensirkulasikan air di kolam. Bila dipasang secara tepat, kincir ini bisa menimbulkan arus air memusat yang membawa bahan organik ke tengah dasar kolam, sehingga daerah pinggiran kolam menjadi bersih, tempat dimana udang bisa bergerak dan makan. Dalam penggunaannya kincir dengan penggerak mesin diesel ini terdiri dari beberapa komponen yaitu : mesin diesel, *reducer* putaran, *v – belt*, pelampung, poros kincir dan daun kincir. Kincir dengan penggerak mesin diesel dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1 Kincir dengan penggerak mesin diesel

### 2.2.2. Motor Listrik

Motor listrik yang paling banyak digunakan sebagai tenaga penggerak kincir pada umumnya adalah dari jenis motor induksi tiga fasa. Motor induksi tiga fasa adalah motor listrik yang memiliki tiga kumparan yang berbeda  $120^\circ$  sehingga membutuhkan sumber daya listrik tiga fasa dalam pengoperasiannya (Mali, Hiware, Patil, Shirke, & Burali, 2017). Skema kumparan motor listrik tiga fasa dan tegangan fasa dapat dilihat pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2 Skema kumparan dan tegangan motor listrik tiga fasa

Kincir jenis dengan penggerak motor induksi tiga fasa ini banyak digunakan dalam kegiatan budidaya dimana setiap satu motor listrik biasanya memiliki dua buah daun kincir. Daya motor listrik yang digunakan antara 1 – 2 HP. Kincir yang digerakkan oleh motor listrik dapat dilihat pada Gambar 2-3.



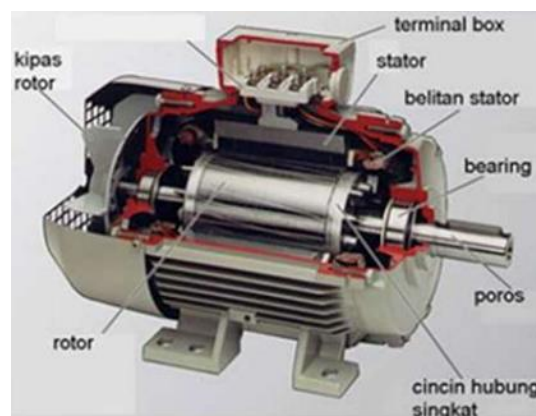
Gambar 2-3 Kincir dengan penggerak motor listrik

#### a) Motor Induksi

Motor induksi terdiri dari bagian yang tetap (*stator*) dan bagian yang bergerak (*rotor*). Kedua bagian ini dipisah oleh suatu celah udara. Bagian *stator* dihubungkan ke sumber tegangan arus bolak balik (AC), sedangkan bagian *rotor* tidak dihubungkan secara langsung ke sumber listrik, tetapi menerima arus induksi yang ditimbulkan oleh arus stator mirip dengan prinsip kerja sebuah transformator (Christianto, 2013) .

Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi tiga fasa dan motor induksi satu fasa. Motor induksi satu fasa dioperasikan pada sistem tenaga listrik satu fasa dan banyak digunakan untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi satu fasa mempunyai daya keluaran yang rendah.

Motor induksi tiga fasa dioperasikan pada sistem tenaga tiga fasa dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi mempunyai beberapa kelebihan yaitu: perawatannya mudah, lebih handal, harganya relatif murah dan memiliki efisiensi yang tinggi. Motor jenis ini banyak dioperasikan pada kecepatan dan beban konstan (Mohan, 2014). Gambar 2-4 menunjukkan konstruksi motor induksi.



Gambar 2-4 Konstruksi Motor Induksi

#### b) Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi berdasarkan proses induksi yang terjadi pada bagian rotor. Arus yang mengalir pada kumparan *rotor* merupakan arus yang

terinduksi akibat adanya perbedaan putaran *rotor* dengan medan putar yang dihasilkan oleh kumparan *stator*. Prinsip kerja motor induksi tiga fasa adalah sebagai berikut (Purnanta, 2017):

1. Apabila sumber tegangan diberikan pada kumparan *stator*, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan angular ( $N_s$ ). Besarnya kecepatan *angular* dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$N_s = \frac{120 \times f}{p}$$

Dimana

$f$  : Frekwensi masukan motor induksi

$p$  : Jumlah pasang kutub

$N_s$  : Kecepatan *angular*

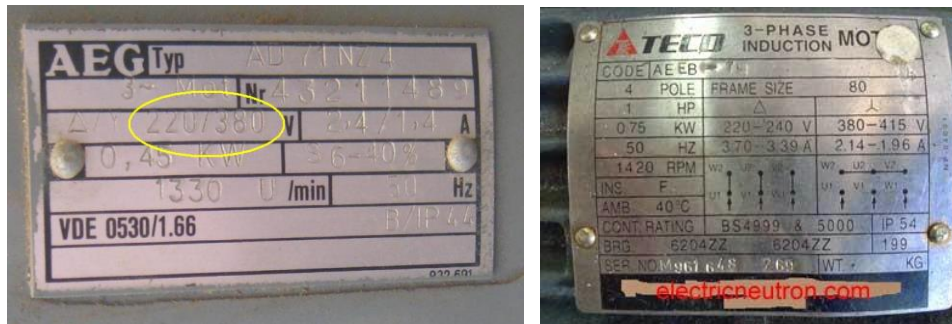
2. Medan putar stator akan memotong batang konduktor pada *rotor*, sehingga pada kumparan *stator* timbul gaya gerak listrik (ggl)
3. Gaya gerak listrik induksi yang timbul menyebabkan timbulnya arus pada kumparan rotor, karena rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup
4. Adanya arus *stator* dan arus *rotor*, maka akan menimbulkan torsi elektromagnetik ( $T_e$ ), torsi mula yang dihasilkan cukup besar, sehingga *rotor* akan berputar searah dengan medan putar *stator*.
5. Agar tegangan terinduksi, maka diperlukan adanya perbedaan antara kecepatan angular dari medan putar *stator* ( $N_s$ ) dengan kecepatan putar *rotor* ( $N_r$ ). Selisih antara ( $N_s$ ) dan ( $N_r$ ) disebut dengan *slip* ( $S$ ). Besarnya *slip* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

#### c) Sambungan Motor Induksi

Jika motor induksi tiga fasa akan dihubungkan ke sumber tegangan, maka data pada pelat nama motor harus disesuaikan dengan sumber tegangan. Hubungan lilitan motor tiga fasa diimplementasikan melalui enam terminal (versi standar) pada kotak terminal motor dan dapat dihubungkan dengan dua jenis rangkaian yaitu hubungan bintang dan hubungan segitiga (Harten & Setiawan, 1978).

Pelat nama pada motor listrik berisi informasi mengenai spesifikasi motor listrik. Informasi yang tertera diantaranya adalah daya motor, tegangan kerja motor berdasarkan sambungan lilitan, RPM motor, kelas insulasi dan lain-lain. Contoh pelat nama motor listrik dapat dilihat pada Gambar 2-5.

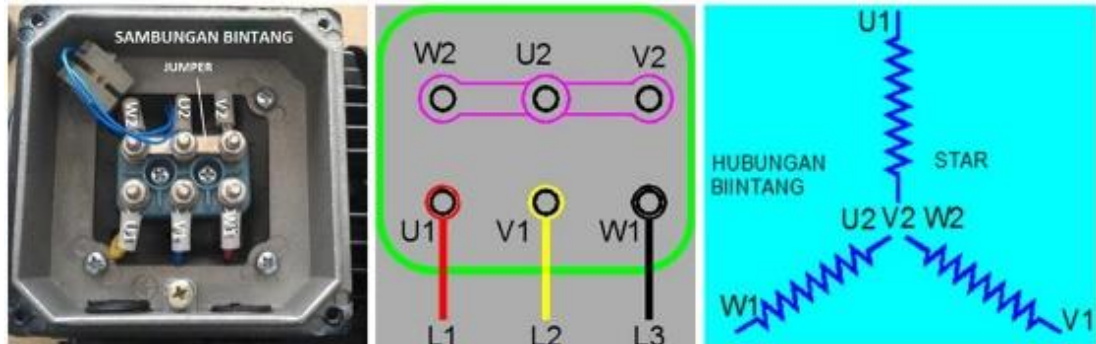


Gambar 2-5 Pelat nama motor listrik tiga fasa

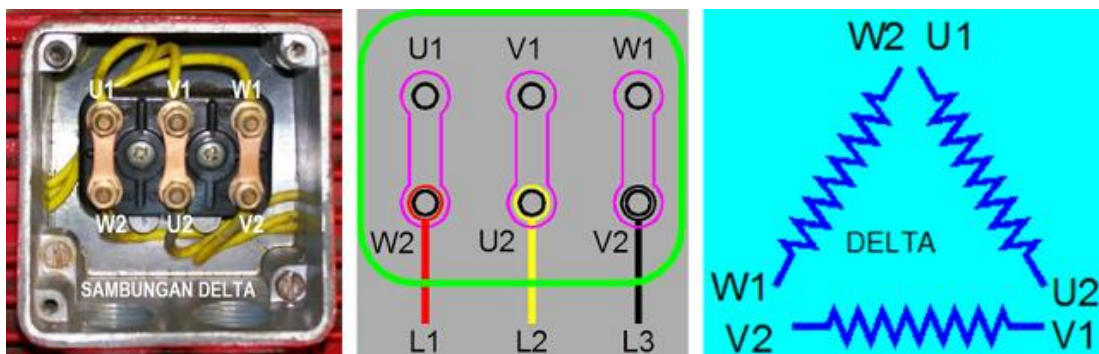
Perbedaan sambungan ini digunakan untuk menentukan tegangan sumber listrik yang akan digunakan oleh motor listrik. Sebagai contoh jika motor disambungkan dengan sambungan segitiga/delta ( $\Delta$ ) maka tegangan kerja motor adalah 220 V dan jika motor disambung dengan sambungan bintang/star (Y) maka tegangan kerja motor adalah 380 V.

Hubungan bintang (*star*) adalah lilitan pada motor listrik dirangkai seperti membentuk huruf Y dimana ujung-ujungnya adalah tersambung sebagai *line*. Sedangkan hubungan *delta* adalah lilitan pada motor listrik dirangkai seperti membentuk bangun segitiga dimana ujung-ujungnya adalah tersambung sebagai *line* (Arochman, 2013).

Bentuk sambungan segitiga/delta ( $\Delta$ ) dan sambungan bintang/star (Y) pada motor listrik tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 2-6 dan Gambar 2-7.



Gambar 2-6 Sambungan bintang pada motor listrik tiga fasa



Gambar 2-7 Sambungan segitiga motor listrik tiga fasa

#### d) Insulasi Motor Listrik

Insulasi pada motor listrik adalah tingkat ketahanan kumparan motor pada temperatur tertentu. Sebelum motor listrik dijalankan maka suhu motor akan sama dengan suhu ruang di sekitarnya. Suhu ini biasanya disebut sebagai suhu ruangan (*Ambient Temperature*). Suhu ruangan yang disarankan adalah  $40^{\circ}\text{C}$ . Setelah motor dijalankan maka suhu dalam lilitan motor akan bertambah yang disebut peningkatan suhu (*Rise Temperature*). Japanese Industrial Standart yang tertuang dalam dokumen JIS C4003 tentang *Classes of Electrical Insulation* telah membagi kelas insulasi berdasarkan batas maksimum peningkatan suhu untuk peralatan listrik menjadi 7 (tujuh) kelas yaitu kelas Y, A, E, B, F, H dan C (Ohta, 1985). Batas peningkatan suhu masing-masing kelas dapat dilihat pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Temperatur maksimum yang diijinkan berdasarkan kelas insulasi

Insulation Claass	Maksimum Permisibble Temperature <sup>0</sup> C
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	Over 180

Sumber : Shimizu Ohta 1985

### 2.3. Converter Listrik Satu Fasa Menjadi Tiga Fase

Perkembangan teknologi di bidang elektronika telah menghasilkan banyak inovasi-inovasi baru. Salah satunya adalah alat konversi listrik satu fasa menjadi tiga fasa (Yadav et al, 2015). Untuk konversi ini sudah banyak model yang bisa dikembangkan dalam menghasilkan listrik tiga fasa dari sumber listrik satu fasa, diantaranya adalah *static phase converter*, *rotary phase converter*, *phase converting variable frequensi drives (VFD)* dan *digital phase converter* (Meiners, 2014).

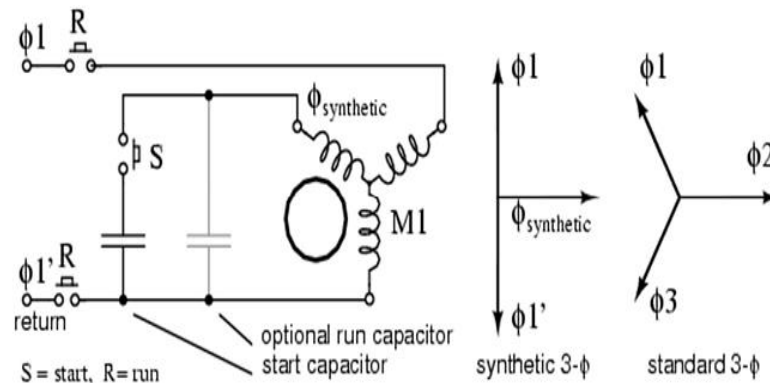
#### 2.3.1. Static Phase Converter,

*Static Phase Converter* merupakan *converter* yang menggunakan teknologi sederhana dan termasuk teknologi yang sudah lama. *Static Phase Converter* merupakan pengubah fasa dari sumber daya satu fasa ke tiga fasa dengan memanfaatkan satu atau lebih kapasitor (Wyn & Naing, 2008).

Fasa yang dihasil dari kapasitor ini disebut dengan fasa Synthetic. Sudut fasa yang dihasilkan pada fasa synthetic ini tidak sempurna atau membentuk sudut 120<sup>0</sup> listrik namun dapat diupayakan membentuk sudut 90<sup>0</sup> listrik (Mali et al., 2017).

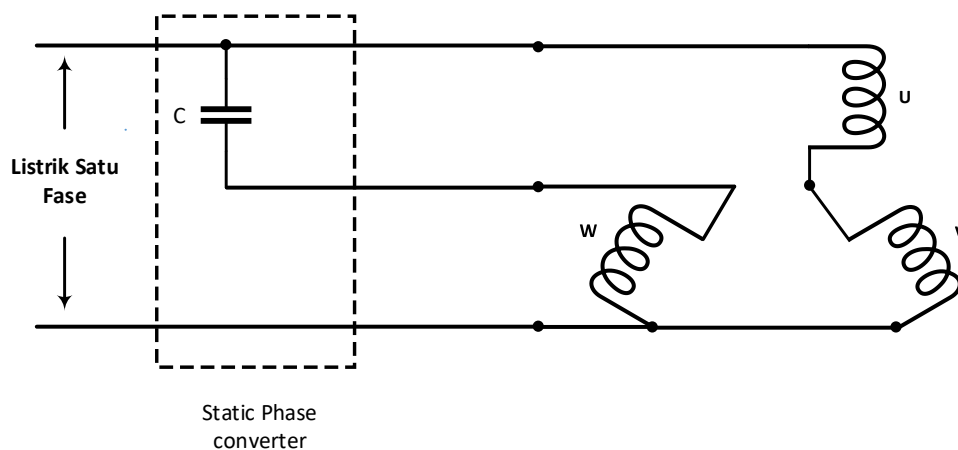


Skema fasa *synthetic* dapat dilihat pada Gambar 2-8.



Gambar 2-8 Skema fasa *synthetic* menurut Hiware 2017

Menurut Scheda (1985) untuk menjalankan motor listrik tiga fasa dengan *static phase converter* perlu dilakukan perubahan sambungan lilitan pada kumparan motor listrik, perubahan sambungan yang dilakukan yaitu menyambungkan dua kumparan secara seri dan satu kumparan secara paralel. Kumparan yang tidak disambung secara seri dianggap sebagai kumparan bantu (Scheda, 1985). Bentuk sambungan *static phase converter* menurut Scheda dapat dilihat pada Gambar 2-9.

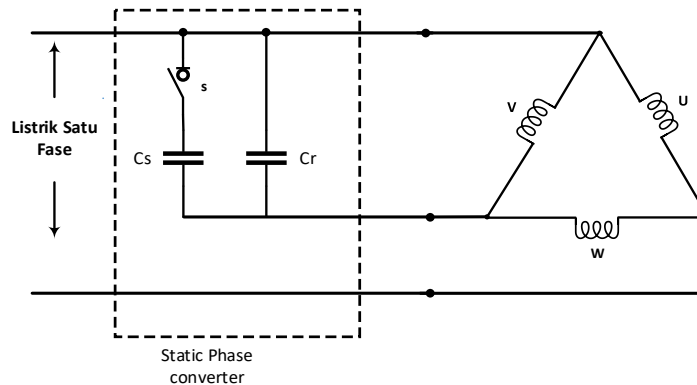


Gambar 2-9 Gambar sambungan *static phase converter* menurut Scheda

*Static phase converter* yang di gunakan oleh Al-turki dan Al-umari (2000) menggunakan sambungan *delta* pada motor tiga fasa. Rangkaian ini terdiri dari dua kapasitor dan sebuah *relay*. Pada saat start motor akan menggunakan dua kapasitor

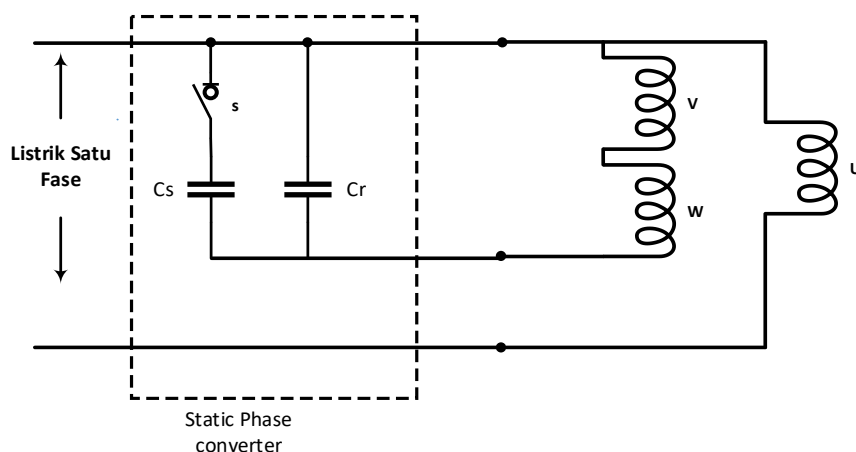


untuk membangkitkan medan putarnya, ketika motor telah berputar dengan kecepatan normal maka saklar akan memutuskan sambungan salah satu kapasitor (Al-turki & Al-umari, 2000). Bentuk sambungan *static phase converter* menurut Al-turki dapat dilihat pada Gambar 2-10.



Gambar 2-10 Gambar sambungan *static phase converter* menurut Al-turki

Menurut Anthony (2008) pada metode sambungan scheda dapat dikembangkan dengan membalik sambungan kumparan motor. Metode yang digunakan yaitu dengan cara menempatkan kapasitor pada sisi kumparan dengan impedansi yang lebih besar (kumparan bantu), dengan metode ini faktor daya dapat diperbaiki hingga mencapai 0,99 (Anthony, 2008). Bentuk sambungan *static phase converter* menurut Anthony dapat dilihat pada Gambar 2-11.



Gambar 2-11 Gambar sambungan *static phase converter* menurut Anthony

Menurut Mali (2017), besarnya nilai kapasitor *starting* dan kapasitor *running* yang digunakan sangat tergantung pada motor listriknya, cara yang paling tepat dalam menentukan besarnya kapasitas kapasitor agar dapat membentuk sudut  $90^0$  listrik adalah dengan menggunakan persamaan berikut :

a) Apparent Power (S)

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \quad \text{VA}$$

b) Active Power (P)

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi \quad \text{W, atau}$$

$$P = S \cdot \cos \phi \quad \text{W}$$

c) Ractive Power (Q)

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \phi \quad \text{VAR, atau}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad \text{VAR}$$

d) Capacitive Current ( $I_c$ ) per Phase

$$I_c = \frac{Q}{V_{ph}} \quad \text{Amp}$$

e) Capacitive Reactance ( $X_c$ )

$$X_c = \frac{V_{ph}}{I_c} \quad \Omega$$

f) Capacitor (C)

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} \quad \mu\text{F}$$

Keterangan:

$V_L$  : Tegangan line-line

$I_L$  : Kuat arus pada line

$\cos \phi$  : Faktor daya

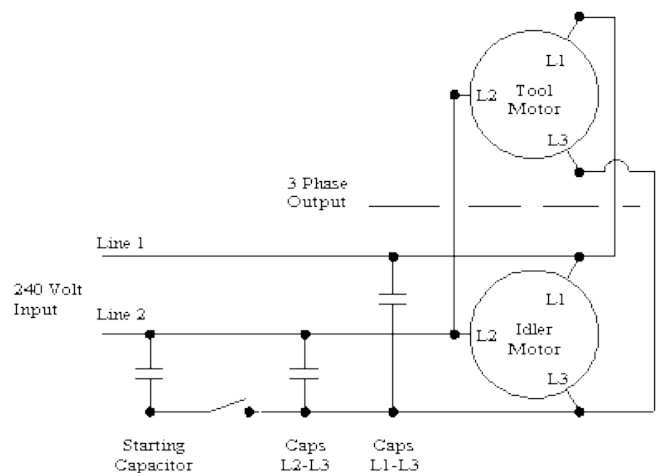
$V_{ph}$  : Tegangan Phase-Netral

$f$  : Frequecy

$\pi$  : 3,14

### 2.3.2. Rotary Phase Converter

Perangkat ini terdiri dari motor tiga fasa (biasanya tanpa beban) dan sebuah kapasitor bank yang dihubungkan secara seri. Motor ini disebut dengan *Idle Motor*. Untuk dapat menghasilkan listrik tiga fasa yang sesuai maka daya *idle motor* harus lebih besar dari pada motor yang akan dijalankan, sebagai contoh bila *converter* dirancang untuk menggerakkan motor 7,5 HP maka *idle motor* yang digunakan sebaiknya 10 Hp atau lebih besar (Yahya & Tohir, 2007). Skema dan contoh *rotary phase converter* dapat dilihat pada Gambar 2-12 dan Gambar 2-13.



Gambar 2-12 Rangkaian *Rotary Phasa Converter*



Gambar 2-13 *Rotary Phasa Converter* dan *Idle Motor*

### 2.3.3. Phase Converting Variable Frekuensi Drives (VFD)

*Variable Frequency Drives* (VFD) sebenarnya dirancang untuk mengendalikan kecepatan motor AC, namun dapat juga berfungsi sebagai *converter* tiga fasa. *Converter* tiga fasa biasa akan menghasilkan tegangan dan frekuensi yang sama dengan frekuensi masukannya. Namun berbeda dengan *variable frequency drives* (VFD), alat ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan tegangan dan frekuensi yang bervariasi (Jr *et al*, 2012). Bentuk dari *variable frequency drives* dapat dilihat pada Gambar 2-14.

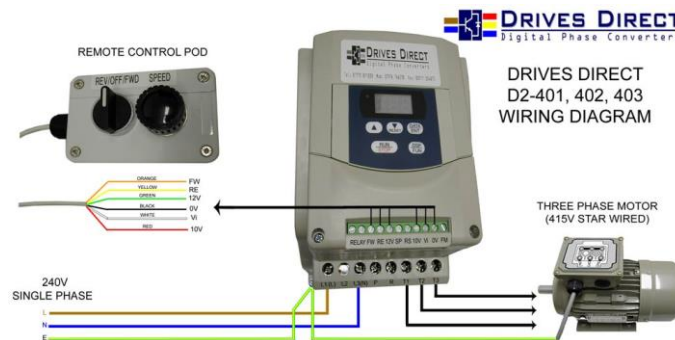


Gambar 2-14 Variable Frequency Drives

Tegangan *output* dari VFD tidak menghasilkan gelombang *sinusoidal*, melainkan serangkaian pulse yang memiliki nilai rata-rata gelombang sinus. Saklar yang mengendalikan pulse ini harus membuat transisi *on /off* dengan sangat cepat (sekitar 0,2 mikrodetik) agar VFD beroperasi secara efisien. Tegangan bergelombang ini dapat merusak kabel, motor dan penggerak. Jika jarak antara VFD dan motor dekat (kurang dari 10 kaki) maka tidak menimbulkan masalah, namun jika jaraknya mendekati 50 kaki atau lebih, maka produsen VFD merekomendasikan agar dipasang filter pada outputnya. Filter ini terdiri dari sebuah induktor secara seri dengan setiap fasa *output* dengan kapasitor yang terhubung ke terminal kedua dari setiap induktor. Terminal lain dari masing-masing kapasitor terhubung ke titik yang sama. Filter ini tidak membuat tegangan *output* menjadi *sinusoidal*, tetapi hanya mengurangi gelombang yang dapat merusak kabel dan motor.

#### 2.3.4. Digital Phase Converter

Masalah pada *converter rotary* dan *statis* adalah mengalami kesulitan dalam menyesuaikan keseimbangan tegangan untuk setiap perubahan kondisi beban (Patil & Aspal, 2012). *Digital phase converter* mampu mengatasi masalah ini. Mikrokontroler yang dimiliki mampu mengukur tegangan yang dihasilkan dan senantiasa mengontrol hasil konversinya. Selain melakukan perhitungan berkecepatan tinggi, DSP terus memantau tegangan dan arus pada sistem untuk memastikan bahwa arus yang dikeluarkan *sinusoidal*, dan tegangan *output* yang dihasilkan juga *sinusoidal*. Tegangan *output* yang dihasilkan dapat diatur sesuai keinginan. Ketepatan dan keakuratan ini merupakan bagian yang paling diutamakan dalam pengendalian oleh *digital signal processor* (DSP). Bentuk dari *digital phase converter* dapat dilihat pada Gambar 2-15.



Gambar 2-15 Digital Phase Converter

#### 2.4. Energi Matahari

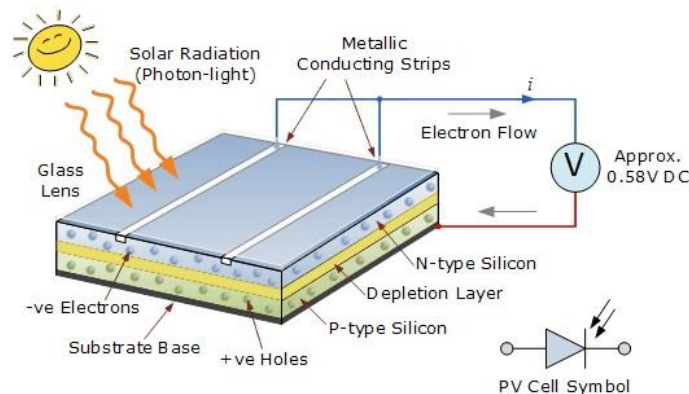
Energi panas matahari sangat melimpah di daerah yang memiliki iklim tropis seperti di Indonesia yang selalu disinari matahari sepanjang tahun. Hal itu menjadi sumber energi yang sangat berpotensi untuk dikembangkan. Salah satu contoh pemanfaatan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik adalah dengan menggunakan sel surya. Panel sel surya terdiri dari *photovoltaic* yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) arus listrik yang dihasilkan juga akan berkurang (Younes, Claywell, & Muneer, 2005).

#### 2.4.1. Sel Surya (*Photovoltaic Cell*)

Energi listrik dapat dibangkitkan dengan mengubah sinar matahari melalui sebuah proses yang dinamakan *photovoltaic* (PV). *Photo* merujuk kepada cahaya dan *voltaic* mengacu kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan sel elektronik yang memproduksi energi listrik arus searah dari energi radian matahari. *Photovoltaic cell* dibuat dari material semikonduktor terutama *silicon* yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Pada panel surya terdapat dua jenis semikonduktor yang digunakan, yaitu jenis P dan N. Semikonduktor jenis P memiliki kelebihan *hole* yang menyebabkan *semikonduktor* ini bermuatan positif, sedangkan semikonduktor jenis N memiliki kelebihan *elektron* yang menyebabkan semikonduktor ini bermuatan negatif. Pada sel surya kedua tipe semikonduktor ini (N dan P) dihubungkan dimana daerah terjadinya kontak antara kedua tipe semikonduktor disebut *P-N Junction*. Pada *P-N Junction* terjadi proses perpindahan *electron* secara difusi dari semikonduktor jenis N yang bersatu dengan *hole* pada semikonduktor jenis P sehingga semikonduktor jenis P yang awalnya bermuatan positif akan berubah menjadi bermuatan negatif begitu juga sebaliknya terjadi difusi *hole* dari semikonduktor jenis P menuju semikonduktor jenis N untuk berikatan dengan *electron* menyebabkan semikonduktor jenis N yang awalnya bermuatan negatif menjadi bermuatan positif. Daerah negatif dan positif ini dikenal juga dengan sebutan lapisan deplesi (*depletion layer*). Pada lapisan deplesi terdapat perbedaan muatan positif dan negatif, sehingga timbul medan listrik dengan sendirinya dari sisi positif ke sisi negatif yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor jenis P dan *elektron* ke semikonduktor jenis N. Akibat munculnya medan listrik pada *P-N junction* menyebabkan timbulnya arus *drift*.

Pada saat cahaya matahari mencapai lapisan deplesi maka *electron* akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan. Sel surya selalu didesain untuk mengubah cahaya menjadi energi listrik sebanyak-banyaknya dan dapat digabung secara seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan (Chenni, Makhlouf, Kerbache, & Bouzid, 2007).

Bagian-bagian dari panel surya dapat dilihat pada Gambar 2-16.



Gambar 2-16 Bagian – bagian panel surya

#### 2.4.2. Jenis Sel Surya

Sel surya yang sering digunakan dalam panel surya biasanya ada dua jenis yaitu jenis polikristal dan monokristal.

##### 1. Polikristal (*Poly-crystalline*)

Panel surya jenis *polycrystalline* merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak yang terbuat dari batangan kristal silikon yang dilebur kemudian dicetak dalam suatu cetakan. Karena proses pembuatannya melalui proses peleburan, maka kemurnian kristal silikonnya tidak seperti panel surya jenis monocrystalline sehingga panel surya yang dihasilkan tidak identik satu dengan lainnya. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi sebesar 13% - 16%. Panel surya jenis ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.

##### 2. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Panel surya jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni sehingga dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu dengan lainnya yang menghasilkan kinerja yang tinggi. Panel surya jenis ini merupakan jenis panel surya yang memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 15% - 20%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang

cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan (Pucar & Despic, 2002).

#### 2.4.3. Potensi Energi Matahari di Aceh

Provinsi Aceh terletak antara  $01^{\circ} 58' 37,2''$  –  $06^{\circ} 04' 33,6''$  Lintang Utara dan  $94^{\circ} 57' 57,6''$  –  $98^{\circ} 17' 13,2''$  Bujur Timur dengan ketinggian rata-rata 125 meter di atas permukaan laut. Batas-batas wilayah Provinsi Aceh, sebelah utara dan timur berbatasan dengan Selat Malaka, sebelah selatan dengan Provinsi Sumatera Utara dan sebelah barat dengan Samudera Indonesia.

Untuk potensi energi matahari, tentunya tidak perlu diragukan lagi besarnya potensi energi matahari yang dapat digunakan karena kondisi iklim di Indonesia berada pada iklim tropis, dimana mendapatkan sinar matahari selama setahun penuh. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), radiasi sinar matahari di Kawasan Barat Indonesia (KBI) memiliki nilai sekitar  $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  dengan variasi bulanan sekitar 10% (BPPT, 2017). Lamanya waktu penyinaran matahari di Propinsi Aceh berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika yang diukur melalui Stasiun Meteorologi Sultan Iskandar Muda dengan WMO ID 96011 selama 12 (dua belas) bulan terakhir dapat dilihat pada Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Lama Penyinaran Matahari di Aceh Tahun 2017

No	Bulan	Lama Penyinaran (jam)	
		Total	Rata-rata
1	January	112.90	4.70
2	February	155.90	6.00
3	March	144.80	5.57
4	April	79.20	5.66
5	May	79.60	4.19
6	June	117.40	6.18
7	July	96.80	6.05
8	August	104.00	4.95



9	September	58.70	3.91
10	October	143.20	6.82
11	November	80.20	4.01
12	December	80.30	4.02

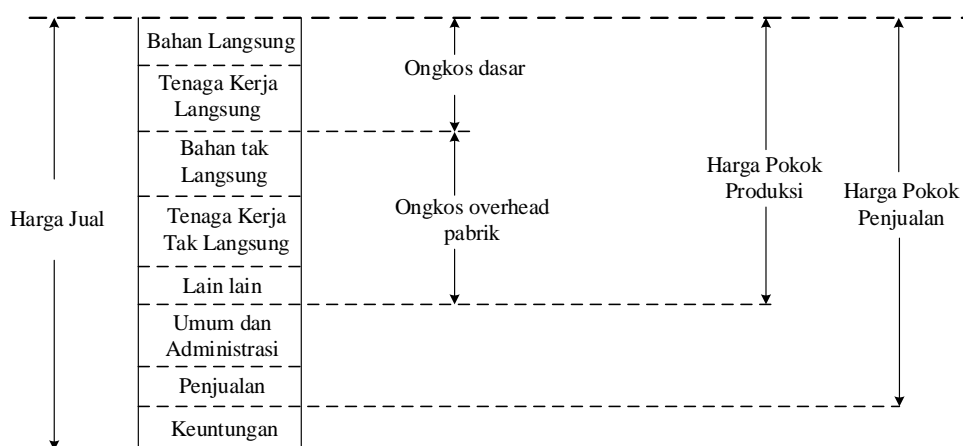
Sumber : (BMKG, 2017) – diolah kembali

## 2.5. Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi digunakan untuk mengetahui apakah suatu usulan investasi atau usulan usaha secara ekonomi layak atau tidak layak untuk dilaksanakan (Blank & Taraquin, 2012). Kelayakan usulan usaha dianalisa berdasarkan aspek-aspek ekonomi yang dapat diketahui dengan melakukan penentuan harga produk, parameter BEP (*Break Event Point*), NPV (*Net Present Value*) dan IRR (*Internal Rate Of Return*).

### 2.5.1. Harga Produk (*Selling Price*)

Dalam menentukan harga jual produk ada beberapa komponen biaya yang harus diperhitungkan. Menurut Pujawan (2008) dalam bukunya yang berjudul Ekonomi Teknik dikatakan bahwa harga jual adalah penjumlahan dari harga pokok produksi ditambah harga pokok penjualan dan keuntungan. Struktur penentu harga jual suatu produk menurut Pujawan (2008) dapat dilihat pada Gambar 2-17.



Gambar 2-17 Struktur harga jual produk

### 2.5.2. Break Event Point (BEP)

*Break Even Point* atau titik impas merupakan suatu titik yang menunjukkan bahwa pendapatan total yang dihasilkan sama dengan jumlah biaya yang dikeluarkan, sehingga pelaku usaha tidak memperoleh laba dan tidak mengalami kerugian. *Break Even Point* dapat diartikan suatu keadaan dimana pelaku usaha tidak memperoleh laba dan tidak menderita rugi/ penghasilan = total biaya (Munawir, 2010). Dalam menghitung BEP diperlukan perhitungan terhadap komponen biaya. Komponen biaya yang mempengaruhi BEP, yaitu: *Fix Cost*, *Variable Cost* dan *Revenue* (Blank & Taraquin, 2012).

#### a. Fixed Cost

Komponen ini merupakan biaya tetap atau konstan. Biaya ini tidak mempengaruhi kegiatan produksi secara langsung.

#### b. Variable Cost

Komponen biaya yang satu ini bersifat dinamis. *Variable cost* disebut juga sebagai biaya per unit yang tergantung pada tingkat volume produksi. Apabila produksi meningkat, maka *variable cost* juga akan meningkat. Contohnya seperti biaya bahan baku, biaya upah tenaga kerja, biaya listrik dan lain sebagainya.

#### c. Revenue

Merupakan pendapatan yang diperoleh atas usaha atau penjualan yang dilakukan.

Analisa BEP dibagi menjadi 2 macam yaitu BEP *Quantity* ( $BEP_{(Q)}$ ) dan BEP *Price* ( $BEP_{(P)}$ ). BEP *Quantity* ( $BEP_{(Q)}$ ) menunjukkan berapa lama waktu yang diperlukan untuk mencapai titik impas sedangkan BEP *Price* ( $BEP_{(P)}$ ) menunjukkan berapa nilai pemasukan (*Revenue*) yang dibutuhkan untuk mencapai titik impas.

Persamaan BEP *Quantity* adalah sebagai berikut :

$$BEP_{(Q)} = \frac{FC}{(R - VC)}$$

Persamaan BEP *Price* adalah sebagai berikut:

$$BEP_{(P)} = \frac{FC}{(1 - \frac{VC}{R})}$$

Keterangan :

FC : *Fixed Cost*

VC : *Variable Cost*

R : *Revenue*

### 2.5.3. NPV (*Net Present Value*)

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menganalisa kelayakan investasi adalah dengan metode NPV (*Net Present Value*). NPV merupakan analisis selisih antara penerimaan dan pengeluaran dimasa depan yang dinilai pada kondisi sekarang (Nufaili & Utomo, 2014).

Persamaan dalam menganalisa NPV adalah sebagai berikut:

$$NPV = -kt + \frac{b1 - c1}{(1 + i)} + \frac{b2 - c2}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{bn - cn}{(1 + i)^n}$$

Dimana :

NPV : Nilai Bersih saat ini

kt : Kapital Investasi (Investasi awal)

b1,b2,...,bn : Penerimaan tahun ke-1 sampai tahun ke-n

c1,c2,...,cn : Penegeluaran tahun ke-1 sampai tahun ke-n

i : Tingkat *discount rate*

Apabila diperoleh nilai NPV sebagai berikut :

NPV > 0 , investasi menguntungkan

NPV < 0 , investasi tidak layak dikerjakan

NPV = 0 , investasi berada pada titik impas

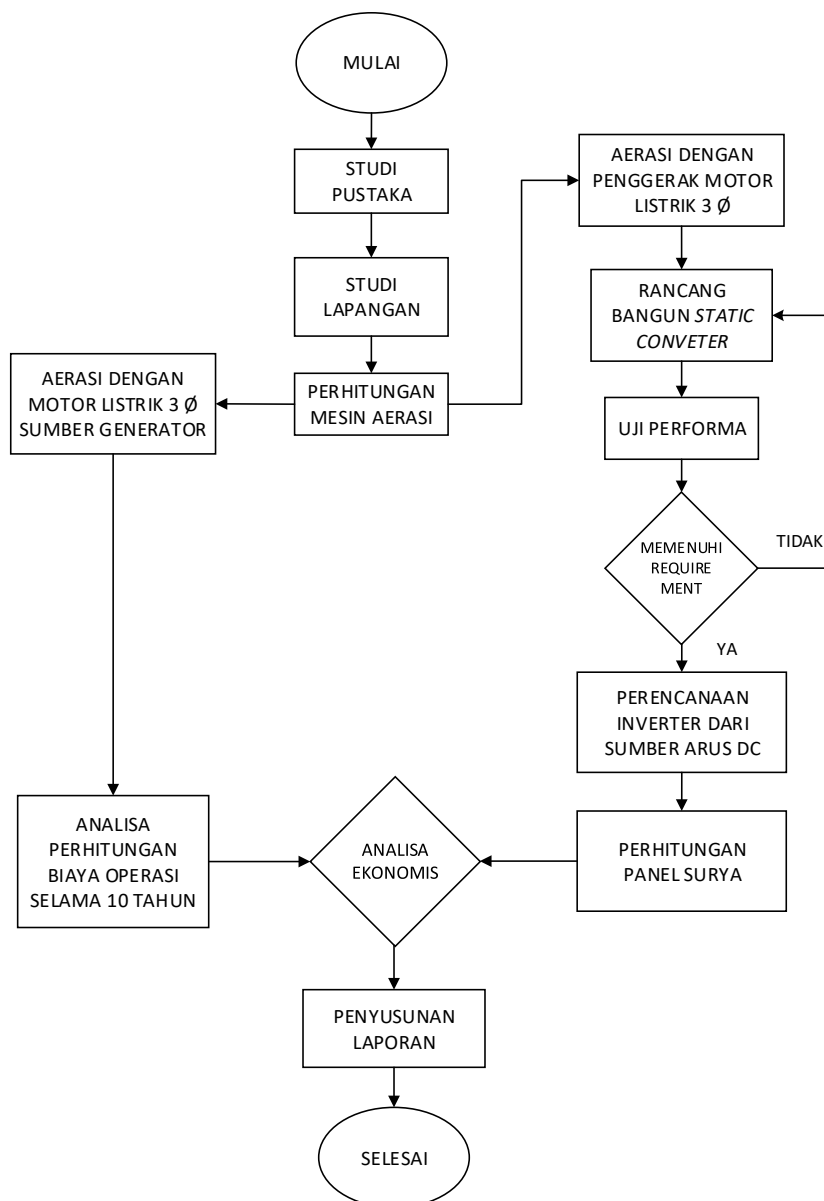
Semakin besar nilai NPV suatu investasi berarti investasi tersebut semakin menguntungkan.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tahapan Pengerjaan Penelitian

Dalam penelitian ini penulis akan melakukan eksperimen mengenai perancangan *static phase converter* untuk menjalankan kincir yang biasa digunakan dalam kegiatan budidaya udang. Tahapan eksperimen yang akan dilakukan sesuai diagram alir pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Studi Lapangan

Berdasarkan hasil studi lapangan petambak yang ada di wilayah Aceh Besar terbagi menjadi dua kategori yaitu petambak tradisional dan petambak *intensif*. Kelompok petambak tradisional hanya melakukan budidaya secara alami tanpa sentuhan teknologi. Para petambak hanya menebar benih ikan atau udang pada kolam mereka dan menunggu hingga waktu panen tiba. Hasil yang diperoleh juga tidak begitu memuaskan bahkan tidak jarang ketika dipanen ikan atau udang yang dibudidayakan tidak membuahkan hasil. Pada Gambar 3-2 menunjukkan tambak tradisional yang ada di wilayah Aceh Besar.



Gambar 3-2 Tambak tradisional di Aceh Besar

Namun untuk petambak yang mempunyai kemampuan finansial yang tinggi sudah menerapkan sistem budidaya *intensif*, disamping itu posisi tambak mereka juga berada pada daerah yang telah terpasang jaringan tiga fasa sehingga masalah pemenuhan energi listrik telah terpenuhi. Tambak-tambak yang dikelola secara *intensif* ini dapat dilihat pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3 Tambak *intensif*

Berdasarkan hasil studi lapangan diketahui bahwa kincir yang diperjual belikan di pasar lokal Aceh adalah jenis kincir yang menggunakan tenaga penggerak motor listrik tiga fasa sedangkan pada daerah – daerah tertentu sumber listrik yang tersedia adalah listrik satu fasa sehingga untuk menjalankan kincir dengan penggerak motor listrik yang tersedia dipasaran yaitu jenis motor listrik tiga fasa menjadi terkendala. Pada Gambar 3-4 menunjukkan ketersediaan *supply* listrik pada daerah tertentu.



Gambar 3-4 Ketersediaan Sumber listrik

Untuk bisa menjalankan usaha pembesaran udang secara *intensif* dan menggunakan kincir sebagai aerator maka petambak harus menggunakan generator tiga fasa sebagai sumber listriknya. Cara lain yang dapat dilakukan dalam kondisi dimana sumber listrik tiga fasa tidak tersedia maka penggunaan *phase converter* sangat memungkinkan untuk dapat mengoperasikan motor penggerak kincir tiga fasa pada sistem listrik satu fasa. Jenis *converter* yang paling sederhana dan mudah didapatkan adalah jenis *static phase converter*. Motor listrik penggerak kincir yang akan dijalankan dengan menggunakan *converter* ini tidak dapat langsung dijalankan, tetapi harus dilakukan penyetingan terlebih dahulu. Penyetingan yang dilakukan meliputi setting mengenai sambungan pada motor listrik. Sebagaimana diketahui bahwa motor listrik tiga fasa dapat disambung dengan sambungan segitiga (*delta*) dan sambungan bintang (*star*).

### 3.3. Perhitungan Kebutuhan Mesin Aerasi

Pada penelitian ini akan dicoba untuk membuat skema budidaya udang dengan luas kolam 1.200 m<sup>2</sup> dengan sistem intensif. Tambak dengan luas 1.200 m<sup>2</sup> ini direncanakan berukuran 40 m x 30 m. Dengan menggunakan sistem budidaya *intensif* maka dapat dimasukkan benur udang dengan padat tebar 100 ekor / m<sup>2</sup>, sehingga jumlah total benur yang dibutuhkan adalah sebanyak 120.000 ekor. Untuk memenuhi kebutuhan oksigen udang maka dibutuhkan kincir sebagai aerator untuk menambah kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) dalam air, dimana 1 HP kincir dapat menopang kebutuhan oksigen udang sebanyak 550 – 600 kg dari total biomasa (Hopkins, Stokes, Browdy, & Sandifer, 1991). Perhitungan kebutuhan kincir adalah sebagai berikut :

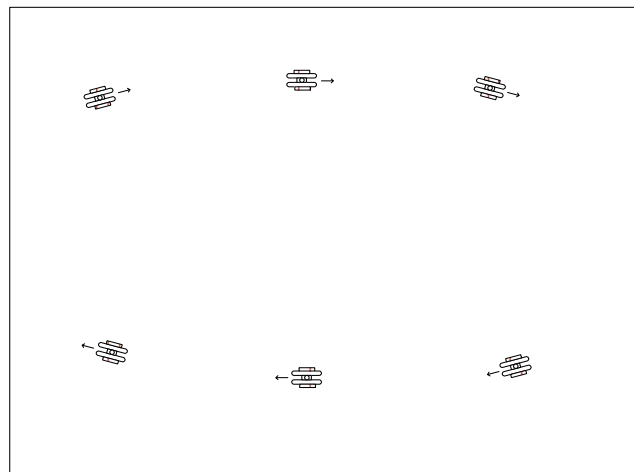
Padat tebar	= 120.000 ekor
Kelangsungan hidup	= 80 %
	= 120.000 x 80 %
	= 96.000 ekor
Target panen	= size 30 (1 Kg = 30 ekor) selama 120 hari dengan ADG ( <i>Average Daily Growth</i> ) sebesar 0,278 gr/hari
Total biomasa	= 96.000 : 30
	= 3.200 kg
Kebutuhan aerasi	= 3.200 : 550
	= 5.8 dibulatkan menjadi 6 unit.

Jumlah kebutuhan kincir yang dibutuhkan adalah sebanyak 6 (enam) unit kincir dengan daya masing-masing sebesar 1 HP / 750 W, maka total daya listrik yang dibutuhkan untuk menjalankan kincir secara bersamaan adalah 4,500 Watt. Penempatan keenam kincir ini harus di *design* dengan baik sehingga fungsi kincir menjadi maksimal. Adapun fungsi kincir menurut Khalifa *et al*, (2013) adalah :

- Sebagai penyuplai oksigen di dalam perairan tambak.
- Membantu dalam proses pemupukan air.

- Membantu dalam proses pencampuran karakteristik antara perairan tambak lapisan atas dan lapisan bawah.
- Membantu dalam mengarahkan kotoran dasar tambak ke arah sentral pembuangan, sehingga memudahkan dalam proses pembersihan dasar tambak.

Pengaturan letak kincir agar berfungsi sesuai yang diharapkan maka penataan kincir dibuat seperti pada Gambar 3-5.



Gambar 3-5 Pengaturan letak kincir di tambak

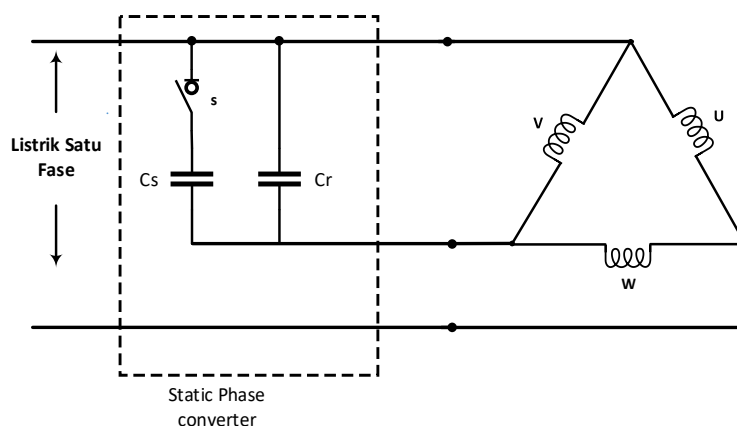
### 3.4. Rancang Bangun *Static Phase Converter*

Konverter yang akan dirancang bangun adalah jenis *static phase converter*. *Static Phase Converter* merupakan pengubah fasa dari sumber daya satu fasa ke tiga fasa dengan memanfaatkan kapasitor. Fasa yang dihasilkan dari kapasitor ini disebut dengan fasa *Synthetic*. Sudut fasa yang dihasilkan pada fasa *synthetic* ini tidak sempurna atau membentuk sudut  $120^0$  listrik namun dapat diupayakan mampu membentuk sudut  $90^0$  listrik (Mali *et al.*, 2017).

*Static phase converter* yang akan dirancang bangun menggunakan metode yang dilakukan Al-Turki dan Al-Umari (2000) dimana kumparan motor listrik akan disambung dengan sambungan segitiga (*delta*/ $\Delta$ ) dan menggunakan dua kapasitor serta dilengkapi dengan sebuah *timer relay* sebagai saklar pemindah. Pada saat start motor akan menggunakan dua kapasitor untuk membangkitkan medan putarnya, ketika motor telah berputar dengan kecepatan normal maka saklar akan memutus



sambungan salah satu kapasitor. Skema *static phase converter* yang akan dirancang bangun dapat dilihat pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6 Skema *static phase converter*

Pada tahap pertama dilakukan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan, kemudian membuat *design* mengenai *wiring diagram static phase converter*, tahap selanjutnya melakukan rancang bangun *static phase converter*.

### 3.4.1. Persiapan Alat

Persiapan yang dilakukan adalah menyiapkan semua peralatan yang akan digunakan selama melakukan eksperimen dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Peralatan yang digunakan dalam melakukan eksperimen.

No	Peralatan	Spesifikasi	Jumlah
1.	Multimeter Digital		1
2.	Tachometer Digital		1
3.	Clampmeter Digital	2 – 600 A	1
4.	Infrared Thermometer	50 – 400 °C	1
5.	Kincir tambak	3 phase 1 HP	1
6.	Panel Box	30 cm x 40 cm	1
7.	Voltmeter Indicator	50 – 400 v	3
8.	Capasitor AC	15 uf	1
9.	Capasitor AC	20 uf	1
10.	Capasitor AC	40 uf	1
11.	<i>Magnetic circuit breaker</i> (MCB)	10 A	1

12.	<i>Over current relay (OCR)</i>	4 – 6 A	1
13.	<i>Timer relay</i>	H3BA-220V	1
14.	<i>Magnetic Contactor (MC)</i>	NXC09- 220 v	1
15.	Kabel NYM	3 x 1,5 mm	15 m
16.	Kabel NYA	1 x 1,5	9 m
17.	Tool set listrik	-	1

Fungsi alat-alat ukur yang digunakan pada kegiatan eksperimen ini adalah sebagai berikut :

#### 1. *Multimeter*

*Multimeter* dapat digunakan untuk mengukur beberapa indikator listrik yaitu tegangan, hambatan dan kuat arus. *Multimeter* yang digunakan adalah *multimeter digital* dengan tipe *Digital Multimeter Mastech MS823C*. Spesifikasi *multimeter digital* ini dapat dilihat pada Tabel 3-2 dan gambar *multimeter digital* dapat dilihat pada Gambar 3-7.

Tabel 3-2 Spesifikasi *Multimeter*

Multimeter Digital Mastech MS823C		
DCV	:	400m/ 4/ 40/ 400/ 600V
ACV	:	4/ 40/ 400/ 600V
DCA	:	400u/ 4m/ 40m/ 400m/ 10A
ACA	:	40m/ 400m/ 10A
Resistance	:	400/ 4k/ 40k/ 400k/ 4M/ 40 MOhm
Capacitance	:	4n/ 40n/ 400n/ 4u/ 40u/ 200uF
Frequency	:	0.1Hz~ 10MHz
Duty Cycle	:	0.1% ~ 99.9%
Power Supply	:	1x 9V battery
Product Size	:	150 x 70 x 50mm
Product Weight	:	237g



Gambar 3-7 Multimeter

## 2. Tachometer

*Tachometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur putaran. Pada kegiatan ini *tachometer* yang digunakan adalah *tachometer digital tipe contact* dan *non contact* merek Dekko 2234BL. *Tachometer* ini dapat mengukur putaran dengan cara kontak langsung dengan benda yang berputar atau dengan cara *non contact* dimana putaran akan dideteksi melalui sensor *infrared*. Untuk penggunaan dengan cara ini benda yang berputar harus diberi sticker sensor terlebih dahulu. Adapun spesifikasi dari *tachometer* tersebut dapat dilihat pada Tabel 3-3 dan gambar *tachometer* dapat dilihat pada Gambar 3-8.

Tabel 3-3 Spesifikasi *Tachometer*

Tachometer Digital		
LCD	:	5 digits 18mm ( 0.6 " )
Accuracy	:	$\hat{A} \pm ( 0.05\% + 1 \text{ digit} )$
Sampling Time	:	0.5sec( over 120RPM)
Range Select	:	Auto-Ranging
Memory	:	Max. value, Min. value, Last value
Measuring Range	:	2.5~ 99, 999RPM
Resolution	:	0.1RPM( 2.5~ 999.9RPM)
Detecting Distance	:	50~ 500mm
Battery	:	3×1.5V AAA battery
Time Base	:	6MHz Quartz crystal

Time Base Accuracy	:	$10 \times 10^{-6}$ (0~ 50 $\hat{\text{A}}$ ° C)
Power Consumption	:	Approx 40mA
Dimension	:	184Lx76Wx30H( mm)



Gambar 3-8 Tachometer

### 3. *Clampmeter*

*Clampmeter* adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar listrik. *Clampmeter* yang digunakan adalah *clampmeter* jenis digital. Spesifikasi digital *clampmeter* dapat dilihat pada Tabel 3-4 dan gambar dari *clampmeter* dapat dilihat pada Gambar 3-9.

Tabel 3-4 Spesifikasi Digital *Clampmeter*

Digital Clampmeter		
Function	:	Rotated Switch
Display	:	LCD Display
DC Voltage	:	Max 600 V
Resistance	:	2000 Ohm
AC Voltage	:	Max 600 V
AC Current	:	Min 1 mA - Max 600 A



Gambar 3-9 Clampmeter

#### 4. *Thermometer*

*Thermometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu, pada kegiatan eksperimen ini pilih *thermometer* jenis infrared. *Thermometer* tersebut akan digunakan untuk mengukur suhu pada motor listrik yang dijalankan. Spesifikasi infrared *thermometer* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-5.

Tabel 3-5 Spesifikasi *Infrared Thermometer*

Infrared Thermometer		
Temperature range	: 50 ~ 380 °C	
Accuracy	0 °C ~ 380 °C	: ± 1.5 °C
	-50 °C ~ 0 °C	: ± 3 °C
Resolution	: 0.1 °C	
Repeatability	: 1% of Reading	
Distance to spot size	: 12:1	
Storage temperature	: -20 °C ~ 60 °C	
Power	: 2 x 1.5 V AAA battery	

Gambar dari *infrared thermometer* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3-10.



Gambar 3-10 *Infrared Thermometer*

### 3.4.2. Persiapan Kincir

Kincir yang digunakan adalah kincir dengan penggerak motor listrik tiga fasa. Kincir jenis ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu motor listrik, Gearbox, Pelampung dan Daun kincir.

#### a) Motor listrik

Motor listrik yang digunakan pada kincir ini adalah motor listrik tiga fasa dengan spesifikasi seperti yang tertera pada Tabel 3-6.

Tabel 3-6 Spesifikasi Motor Listrik

Motor Listrik Kincir		
Jenis	:	Three phase asynchronous motor
Type	:	YE2-90S-4
Rate Voltage	:	220/380 v
Rate current	:	2.0 A
Output	:	750 Watt
Rate speed	:	1390 Rpm
Frequency	:	50 Hz
Cos $\phi$	:	0,72
Efficiency	:	73,5 %
Insulation Class	:	F
Enclosure	:	IP55
Noise	:	60 dB(A)
Weight	:	24 kg

Spesifikasi motor listrik yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3-11.



Gambar 3-11 Spesifikasi motor listrik yang digunakan

#### b) Gearbox

Motor listrik yang berfungsi sebagai tenaga penggerak selanjutnya akan sambungkan dengan *gearbox*. *Gearbox* yang digunakan adalah *gearbox* jenis *reduction gear*, yang mana berfungsi untuk mereduksi putaran motor listrik. Metode yang digunakan untuk mereduksi putaran motor listrik adalah dengan menggunakan perbandingan roda gigi. Spesifikasi *gearbox* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-7.

Tabel 3-7 Spesifikasi *Gearbox*

Merek	:	Sea Dragon
Type	:	NR 271514
Ratio	:	14:01
Pelumasan	:	Oli SAE 90
Volume pelumas	:	1 liter

*Gearbox* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3-12.



Gambar 3-12 Gearbox

c) Pelampung

Kincir udang ini akan diapungkan oleh dua buah pelampung yang dirangkai secara sejajar dengan menggunakan rangka dari *stainless steel*. Ukuran pelampung tersebut adalah 177 x 33 x 20 cm. Bentuk pelampung yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3-13.



Gambar 3-13 Pelampung

d) Daun kincir

Daun kincir yang digunakan dalam eksperimen ini memiliki duah buah daun kincir dimana masing-masing daun kincir memiliki 8 buah lengan. Daun kincir inilah yang berfungsi sebagai aerator pada saat berputar, dimana putaran tersebut akan merusak lapisan film permukaan air yang ada di kolam dan membuat percikan air ke udara. Akibatnya akan terjadi penambahan oksigen terlarut kedalam air.

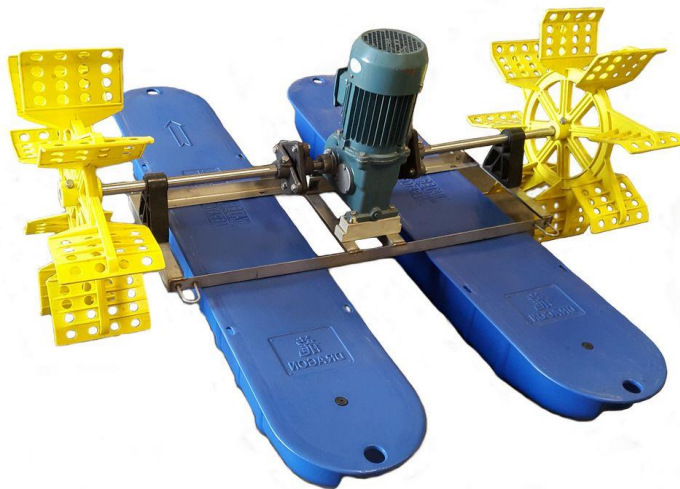


Bentuk dari daun kincir dapat dilihat pada Gambar 3-14.



Gambar 3-14 Daun kincir

Bagian – bagian kincir yang telah diuraikan diatas kemudian dirangkai menjadi satu unit kincir seperti yang terlihat pada Gambar 3-15.



Gambar 3-15 Kincir Tambak

#### **3.4.3. Persipan Motor Listrik**

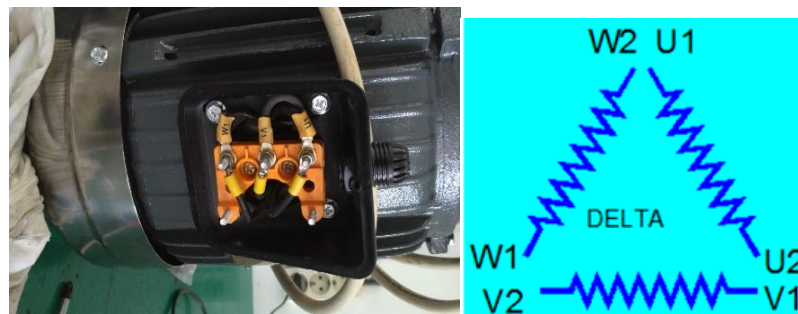
Pada tahap ini dilakukan penyetingan sambungan motor listrik dimana awalnya kumparan motor listrik disambung dengan sambungan bintang (Y), maka dilakukan perubahan sambungan menjadi sambungan segitiga ( $\Delta$ ).

Gambar motor dengan sambungan bintang (Y) dapat dilihat pada Gambar 3-16.



Gambar 3-16 Motor sambungan bintang (Y)

Gambar motor dengan sambungan segitiga ( $\Delta$ ) dapat dilihat pada Gambar 3-17.



Gambar 3-17 Motor sambungan segitiga ( $\Delta$ )

### 3.5. Uji Performa

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian performa terhadap kincir setelah dijalankan dengan menggunakan *static phase converter*. Pada tahap ini akan dilihat apakah motor listrik dapat bekerja sesuai dengan *requirement* yang dipersyaratkan. Pengujian akan dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahap pertama *converter* diuji dengan menjalankan motor listrik tanpa beban. Tahap kedua *converter* diuji dengan menjalankan motor listrik yang dihubungkan dengan *gearbox* dan daun kincir dengan beban fluida udara. Tahap terakhir *converter* akan diuji dengan beban fluida air dengan cara menjalankan kincir di dalam kolam uji. Pada saat pengujian tahap ini akan diamati beberapa indikator pada *converter* dan kincir. Pada *converter* indikator yang diamati adalah tegangan dan kuat arus, sedangkan pada kincir indikator yang diamati adalah putaran dan suhu motor listrik.

Salah satu *requirement* yang disyaratkan pada motor listrik adalah peningkatan suhu pada motor listrik pada saat dijalankan harus sesuai dengan batas yang disyaratkan kelas insulasi motor listrik. Pada motor listrik yang digunakan kelas insulasi yang dimiliki adalah kelas F. Oleh karena itu pada saat kincir dijalankan akan dilihat apakah *requirement* ini akan terpenuhi. Selanjutnya adalah uji ketahanan *static phase converter*, uji ini akan dilakukan dengan menjalankan kincir selama  $\pm 10$  hari tanpa berhenti. Jika setelah melewati masa ini kincir masih beroperasi dengan normal maka rancang bangun *static converter* dianggap berhasil.

### **3.6. Perhitungan Panel Surya**

Perhitungan kebutuhan panel surya akan dilakukan berdasarkan hasil pengujian kincir dengan konverter. Pada tahap ini akan dihitung berapa kebutuhan panel surya yang digunakan jika motor penggerak kincir dioperasikan dengan menggunakan sumber listrik arus searah (DC) yang berasal dari Matahari.

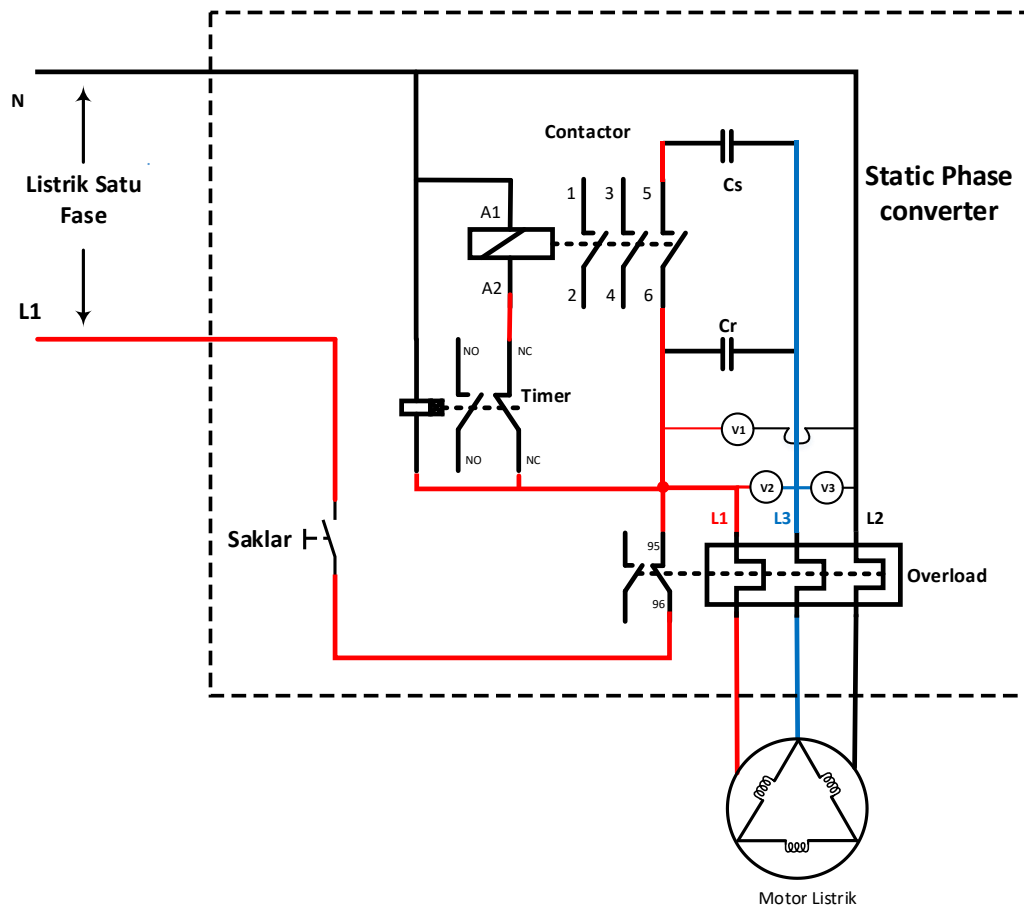
### **3.7. Analisa Teknis dan Ekonomis**

Pada tahap ini akan dilakukan analisa teknis dan ekonomis terhadap jenis penggerak kincir yang akan digunakan mulai dari segi biaya pengadaan peralatannya dan dari segi biaya operasionalnya juga termasuk biaya perawatannya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Perancangan Static Phase Converter

*Static Phase Converter* yang dibuat adalah menggunakan dua buah kapasitor, yaitu kapasitor start dan kapasitor runing. Pemindahan penggunaan kapasitor ini menggunakan magnetic contactor yang diatur dengan menggunakan *timer relay*. Wiring diagram dari *static phase converter* yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1 Wiring diagram *Static Phse Converter*

Cara kerja alat adalah sebagai berikut:

Ketika saklar dijalankan maka listrik akan mengalir melewati terminal *Normally Close* (95-96) yang ada pada overload. Bila arus yang melewati *overload* melebihi

batas yang diijinkan karena beban berlebih atau terjadi hubungan singkat maka *overload* akan memutuskan sambungan NC tersebut sehingga aliran listrik menjadi terputus. Selanjutnya dari terminal NC pada *overload* arus listrik dibagi menjadi 4 (empat) cabang. Cabang pertama langsung digunakan sebagai penyuplai fasa L1, cabang kedua sebagai sumber listrik bagi kapasitor *running* (Cr) dan Kapasitor *Starting* (Cs) yang selanjutnya akan mengeluarkan fasa *Synthetic* yang berfungsi sebagai penyuplai fasa L3. Kapasitor *starting* akan terhubung secara paralel dengan kapasitor *running* hanya pada waktu start yang dihubungkan oleh *contactor* berdasarkan settingan timer selama 2 detik, setelah itu sambungan listrik ke kapasitor *starting* akan terputus. Cabang yang ketiga masuk ke terminal NC pada *timer relay* yang selanjutnya digunakan sebagai penyuplai untuk mengaktifkan *contactor*. Cabang yang keempat sebagai sumber listrik untuk mengaktifkan *timer*. Fasa netral terbagi menjadi dua cabang, pertama sebagai penyuplai fasa L2 secara langsung, kedua sebagai penyuplai netral bagi timer dan kontaktor. Tegangan pada L1 dan L2 akan diukur oleh voltmeter V1, tegangan L1 dan L3 akan diukur oleh voltmeter V2 dan tegangan L2 dan L3 akan diukur oleh voltmeter V3.

Tahap selanjutnya adalah menentukan besarnya nilai kapasitor start yang dibutuhkan. Untuk menentukan nilai kapasitor start maka dilakukan sesuai dengan metode yang dilakukan oleh Mali (2017) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Menghitung *Apparent Power* (S)

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L & \text{VA} \\
 &= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 2 \\
 &= 1.73 \cdot 380 \cdot 2 \\
 &= 1,316 \text{ VA}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan ini diketahui Daya Semu (*apparent power*) adalah sebesar 1,316 VA.

2. Menghitung *Active Power* (P)

$$\begin{aligned} P &= S \cdot \cos \phi & \text{W} \\ &= 1,316 \cdot 0.72 \\ &= 947.78 \text{ W} \end{aligned}$$

Dari perhitungan ini diketahui Daya aktif (*active power*) adalah sebesar 947.78 watt.

3. Menghitung *Ractive Power* (Q)

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{S^2 - P^2} & \text{VAR} \\ &= \sqrt{1,316^2 - 947.78^2} \\ &= \sqrt{1,732,800 - 898,283.52} \\ &= \sqrt{834,516.48} \\ &= 913.52 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Dari perhitungan ini diketahui Daya Reaktif (*reactive power*) adalah sebesar 913.52 VAR

4. Menghitung *Capacitive Current* (I<sub>c</sub>)

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{Q}{V_{ph}} & \text{Amp} \\ &= \frac{913.52}{220} \\ &= 4.15 \text{ Amp} \end{aligned}$$

Dari perhitungan ini diketahui Arus kapasitif (*Capacitive Current*) adalah sebesar 4.15 Amp

#### 5. Mengitung *Capacitive Reactance* ( $X_c$ )

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{V_{ph}}{I_c} \\ &= \frac{220}{4.15} \\ &= 52.98 \ \Omega \end{aligned}$$

Dari perhitungan ini diketahui Reaktansi kapasitif (*Capacitive Reactance*) adalah sebesar 52.98  $\Omega$

#### 6. Menghitung *Capacitor* (C)

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} \quad \mu\text{F} \\ &= \frac{1}{2.3,14.50.52.98} \\ &= \frac{1}{16,636.33} \\ &= 0.0000601094 \quad \text{F} \\ &= 0.0000601094 \times 1,000,000 \\ &= 60.1094 \ \mu\text{F} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai kapasitor yang harus digunakan untuk melakukan start adalah sebesar 60.1094  $\mu\text{F}$  kemudian dibulatkan menjadi 60  $\mu\text{F}$ . Menurut Mali (2017) nilai kapasitor jalan dari motor listrik adalah setengah dari nilai kapasitor start, tergantung beban yang digunakan.

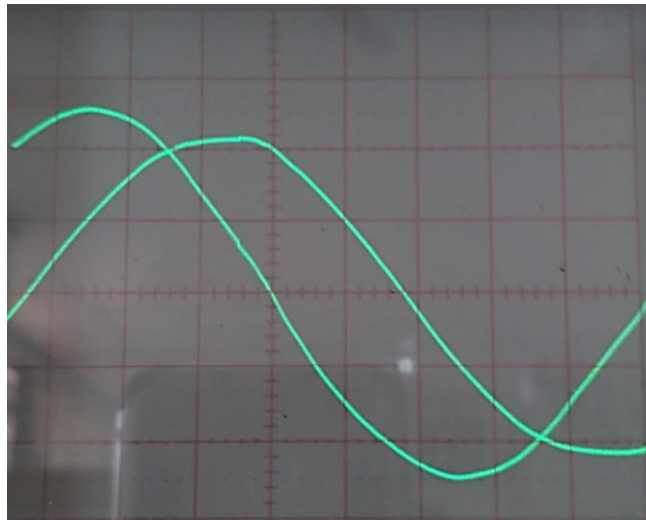
Komponen-komponen *static phase converter* dirangkai sesuai dengan skema wiring diagram dan ditempatkan dalam sebuah panel box berukuran 30 cm x 40 cm.

Hasil perancangan *static phase converter* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-2.



Gambar 4-2 Hasil perancangan *static phase converter*

Untuk melihat bentuk sinyal yang dihasilkan *Static phase converter* yang telah dirancang bangun maka digunakan *osiloscope*. Sinyal yang dihasilkan *converter* dapat dilihat pada Gambar 4-3.



Gambar 4-3 Bentuk sinyal yang dihasilkan *static phase converter*



Berdasarkan Gambar 4-3 dapat diketahui bahwa phase synthetic yang dihasilkan oleh kapasitor bergeser sebesar  $90^0$ . Dengan pergeseran phase tersebut diharapkan dapat menjalankan motor penggerak kincir dengan baik.

#### 4.1.1. Hasil Pengujian *Static Phase Converter*

Pengujian *static converter* dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahap pertama *converter* diuji dengan menjalankan motor listrik tanpa beban. Tahap kedua *converter* diuji dengan menjalankan motor listrik yang dihubungkan dengan gearbox dan daun kincir dengan beban fluida udara. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium *marine electrical and automation system* seperti yang terlihat pada Gambar 4-4.



Gambar 4-4 Pengujian kincir dengan fluida udara

Tahap terakhir *converter* akan diuji dengan beban fluida air dengan cara menjalankan kincir di dalam kolam uji selama  $\pm 10$  hari tanpa henti. Pada saat pengujian tahap ini akan diamati beberapa indikator pada *converter* dan kincir. Pada *converter* indikator yang diamati adalah tegangan, kuat arus dan daya listrik, sedangkan pada kincir indikator yang diamati adalah putaran dan suhu motor listrik.

Pengujian kincir dikolam uji dapat dilihat pada Gambar 4-5.



Gambar 4-5 Pengujian kincir di kolam uji

Hasil pengujian *static phase converter* pada motor listrik tanpa beban dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Hasil Pengukuran Tegangan Tanpa Beban

No	$V_s$ (Sumber)	$C$ ( $\mu F$ )	$V_L$		
			$L_1-L_2$	$L_1-L_2$	$L_1-L_2$
1	220	10	225	217	221
2	220	15	225	221	227
3	220	20	225	224	232
4	220	25	225	226	237
5	220	30	227	268	295

Tahap berikutnya motor listrik dihubungkan dengan *gearbox* dan daun kincir dengan beban fluida udara. Hasil pengujian dengan beban fluida udara dapat dilihat pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Fluida Udara

No	V <sub>s</sub> (Sumber)	C ( $\mu$ F)	V <sub>L</sub>		
			L <sub>1</sub> -L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> -L <sub>3</sub>	L <sub>2</sub> -L <sub>3</sub>
1	220	10	225	197	206
2	220	15	225	199	208
3	220	20	225	203	222
4	220	25	225	230	237
5	220	30	227	268	285

Tahap terakhir *converter* akan diuji dengan beban fluida air dengan cara menjalankan kincir di dalam kolam uji. Hasil pengujian dengan beban fluida air dapat dilihat pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Fluida Air

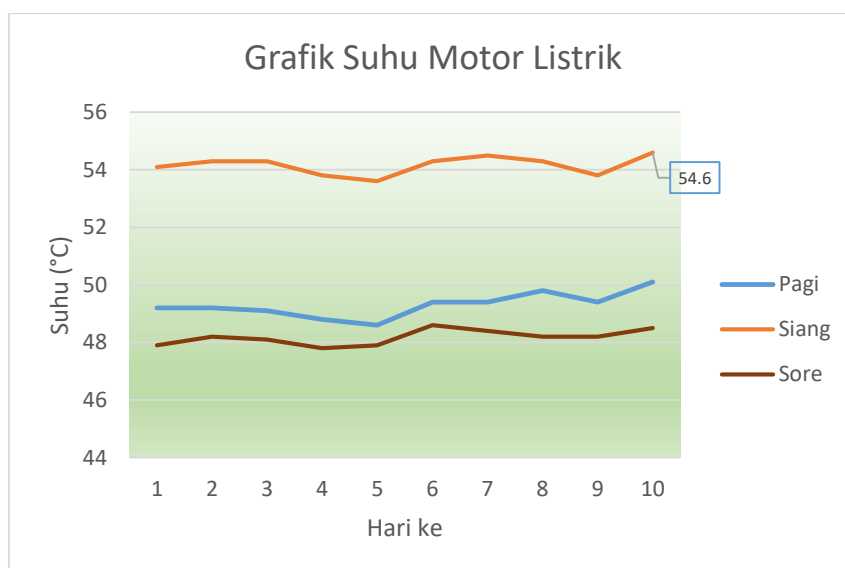
No	V (Sumber)	C ( $\mu$ F)	V <sub>L</sub>		
			L <sub>1</sub> -L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> -L <sub>3</sub>	L <sub>2</sub> -L <sub>3</sub>
1	220	10	225	166	198
2	220	15	225	178	201
3	220	20	227	199	205
4	220	25	225	208	223
5	220	30	227	238	263

Pada saat dijalankan selama 10 hari setiap harinya dilakukan pengamatan terhadap suhu pada motor sebanyak tiga kali, yaitu pada pagi hari (pukul 07.00 – 08.00), siang hari (pukul 12.00 – 13.00) dan pada sore hari (pukul 17.00 – 18.00). Hasil pengukuran suhu setiap harinya dapat dilihat pada Tabel 4-4.

Tabel 4-4 Hasil pengukuran suhu motor listrik

Hari Ke	Suhu (°C)		
	Pagi	Siang	Sore
1	49.2	54.1	47.9
2	49.2	54.3	48.2
3	49.1	54.3	48.1
4	48.8	53.8	47.8
5	48.6	53.6	47.9
6	49.4	54.3	48.6
7	49.4	54.5	48.4
8	49.8	54.3	48.2
9	49.4	53.8	48.2
10	50.1	54.6	48.5

Berdasarkan Tabel 4-4 maka didapatkan grafik peningkatan suhu motor listrik selama 10 hari seperti pada Gambar 4-6.

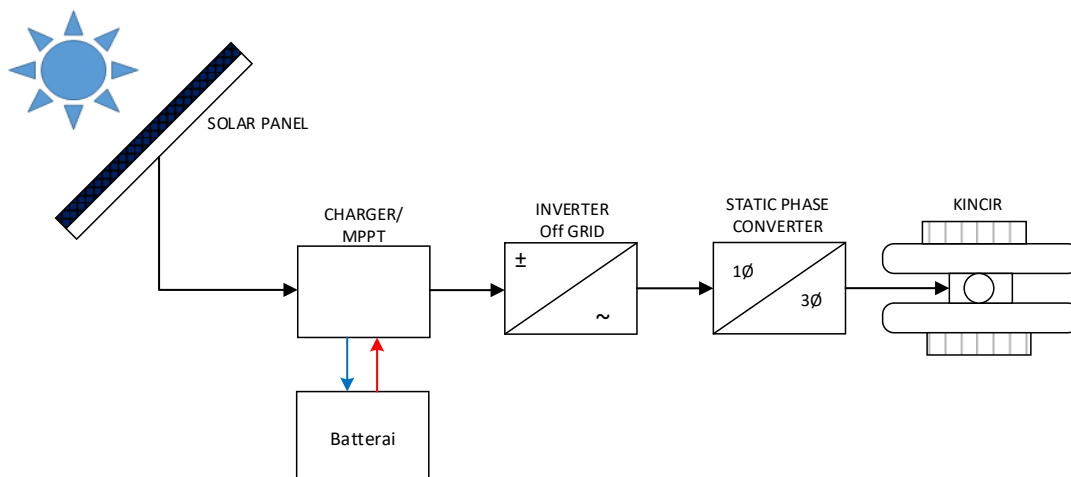


Gambar 4-6 Grafik peningkatan suhu motor listrik

Berdasarkan hasil pengamatan didapatkan data bahwa suhu motor listrik pada siang hari rata-rata lebih tinggi dari pada suhupagi dan sore hari. Suhu pada sore hari rata-rata lebih rendah dari pada suhu pada siang dan pagi hari. Faktor eksternal yang mempengaruhi suhu motor listrik ini adalah posisi kincir yang berada di sebelah barat kolam, dimana pada tepi barat kolam terdapat pohon besar yang menghalangi sinar matahari sehingga setelah pukul 14.00 kincir tidak lagi mendapatkan pemanasan dari sinar matahari. Pada pagi hari mulai pukul 06.00 kincir sudah mendapatkan pemanasan dari sinar matahari, hal ini menyebabkan suhu motor pada sore hari lebih rendah dibandingkan suhu pada pagi dan siang hari. Suhu tertinggi pada motor listrik terjadi saat siang hari di hari ke-10 yaitu sebesar  $54,6^{\circ}\text{C}$  dan suhu terendah terjadi pada sore hari di hari ke-4. Dari hasil pengamatan suhu ini maka dapat dipastikan bahwa motor listrik bekerja dengan baik dan berada dalam kondisi normal dan masih memenuhi *requirement* insulasi yang dimiliki yaitu kelas F dimana batas suhu maksimalnya adalah sebesar  $155^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.2. Pemanfaatan Energi Matahari

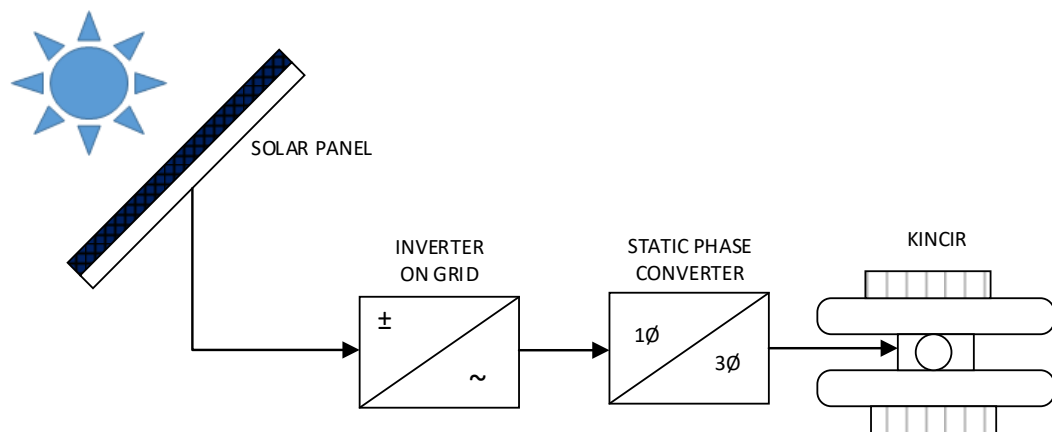
Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi listrik dapat menggunakan dua sistem, pertama adalah menggunakan sistem tidak langsung (*Off-Grid system*). Skema system *Off-Grid* dapat dilihat pada Gambar 4-7.



Gambar 4-7 Skema sistem *Off-Grid*

Pada sistem *Off-Grid* energi yang berasal dari matahari akan dirubah oleh panel surya menjadi energi listrik kemudian diterima oleh *charger*/MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya memiliki range tertentu sesuai dengan instensitas energi matahari yang diterima oleh karena itu *charger* jenis MPPT akan menstabilkan tegangan yang dihasilkan. Keluaran dari *charger*/MPPT ini dapat digunakan sebagai energi untuk pengisian betterai atau langsung digunakan oleh *inverter* untuk dirubah menjadi listrik arus bolak balik (AC) satu fasa. Listrik arus bolak balik ini kemudian dirubah menjadi listrik arus bolak balik tiga fasa oleh *static phase converter* yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan motor penggerak kincir.

Sistem kedua adalah dengan memanfaatkan energi matahari secara langsung (*On-Grid system*). Skema sistem pemanfaatan energi matahari dengan sistem On-grid dapat dilihat pada Gambar 4-8.

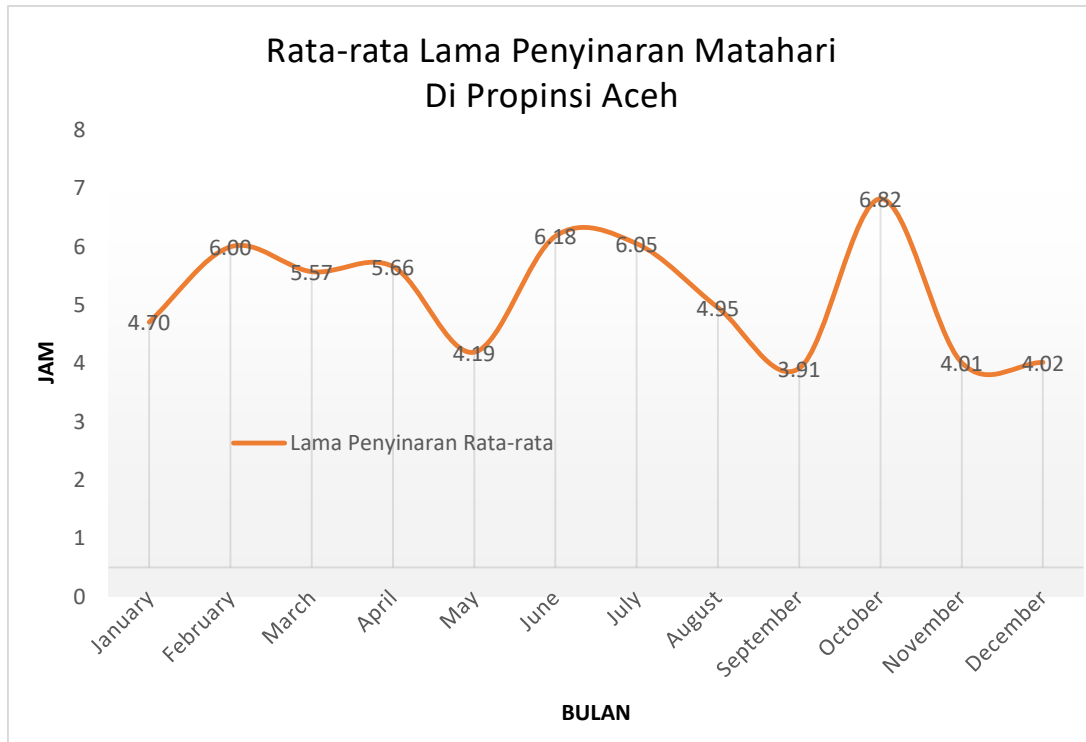


Gambar 4-8 Skema system On-Grid

Pada sistem *On-Grid* energi yang berasal dari matahari dirubah oleh panel surya menjadi energi listrik kemudian langsung dirubah inverter *On-Grid* menjadi listrik arus bolak balik (AC) satu fasa. *Inverter* jenis *On-Grid* ini mampu berkerja dengan baik meskipun tegangan masukan yang diterima dari panel surya tidak stabil selama masih dalam rentang batas tegangan yang disyaratkan oleh *inverter*. Kemudian listrik arus bolak balik satu fasa yang berasal dari *inverter* dirubah

menjadi listrik arus bolak balik tiga fasa oleh *static phase converter* yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan motor penggerak kincir.

Energi matahari yang dapat dimanfaatkan bergantung pada lamanya penyinaran matahari yang tersedia. Berdasarkan data yang diperoleh dari BMKG (2017) rata-rata lama penyinaran matahari di Propinsi Aceh mulai dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember tahun 2017 dapat dilihat pada Gambar 4-9.



Gambar 4-9 Lama Penyinaran rata-rata Matahari selama tahun 2017

Berdasarkan grafik pada Gambar 4-9 diketahui bahwa rata-rata lama penyinaran matahari selama tahun 2017 mengalami flutuatif setiap bulannya. Rata-rata lama penyinaran matahari terendah terjadi pada bulan September yaitu selama 3.91 jam dan tertinggi pada terjadi pada bulan Oktober yaitu selama 6.82 jam. Jika dirata-ratakan maka lama penyinaran matahari di Aceh pada tahun 2017 adalah 5.15 jam perhari.

#### 4.2.1. Perhitungan Sistem Off-Grid

Untuk menghitung jumlah panel surya yang akan digunakan terlebih dahulu dihitung kebutuhan energi listrik yang akan digunakan selama proses pembesaran udang. Jika sumber listrik yang digunakan berasal dari sistem *Off-Grid* maka dilakukan perencanaan kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan. Kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kincir tambak} &= 6 \text{ unit ( } 6 \times 750 \text{ W)} \\ &= 4.500 \text{ W}\end{aligned}$$

Kebutuhan energi listrik dalam satu siklus pembesaran udang dengan target panen pada size 30 (1 kg = 30 ekor udang) selama 120 hari pemeliharaan dengan rata-rata pertumbuhan perhari 0,271 gr dapat dilihat pada Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Kebutuhan Energi Listrik Selama Satu Siklus

Hari ke	Total Biomasa	Biomasa dengan SR 80%	Jumlah	Total Daya	Kebutuhan Energy /hari (Wh)	Kebutuhan Energy /30 hari (Wh)	kWh
1 - 30	979.20	783.36	2	1,500	36,000	1,080,000	1,080
30 - 60	1,958.40	1,566.72	4	3,000	72,000	2,160,000	2,160
60 - 90	2,937.60	2,350.08	6	4,500	108,000	3,240,000	3,240
90 - 120	3,916.80	3,133.44	6	4,500	108,000	3,240,000	3,240

Berdasarkan perhitungan kebutuhan energi, diketahui bahwa kebutuhan energi tertinggi berda pada hari ke 60 sampai dengan hari ke 120 dengan beban sebesar 4,500 Watt. Hal ini dikarenakan kincir yang dioperasikan sebanyak 6 unit kincir sesuai dengan kebutuhan oksigen udang.

Pada saat beban puncak tersebut ditargetkan bahwa penggunaan listrik yang bersumber dari solar panel mampu beroperasi selama 24 jam. Untuk memenuhi kebutuhan ini maka kapasitas baterai dalam satu sistem di-*design* mampu memenuhi kebutuhan energi selama 6 jam, sehingga diperlukan 4 (empat) buah sistem baterai. Setiap enam jam dilakukan pemindahan sistem baterai. Rencana penggunaan sistem baterai dapat dilihat pada Tabel 4-6.



Tabel 4-6 Rencana penggunaan sistem baterai

Waktu Operasional	05.00 - 11.00	11.00 - 17.00	17.00 - 23.00	23.00 - 05.00
Sistem Supply	Sistem Batterai No 1	Sistem Batterai No 2	Sistem Batterai No 3	Sistem Batterai No 4
Total Beban (Wh)	27,000	27,000	27,000	27,000

Kebutuhan energi yang harus disediakan oleh baterai setiap 6 jam adalah sebesar 27.000 Wh. Untuk memenuhi kebutuhan ini digunakan baterai dengan spesifikasi berikut :

Merk : YUASA  
 Type : 190H52/ N200  
 Tegangan : 12 V  
 Kapasitas (Ah) : 200 Ah  
 Isi elektrolit : 18 L

Energi yang dihasilkan tiap baterai adalah :

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Batt}} &= V \cdot C \\
 &= 12 \cdot 200 \\
 &= 2.400 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Sehingga jumlah baterai yang dibutuhkan adalah

$$N_{\text{Batt}} = \frac{E}{E_{\text{Batt}}} = \frac{27.000}{2.400}$$

$N_{\text{Batt}} = 11,25$                       dikenakan menjadi 12 unit.

Total energi baterai yang dimiliki

$$\begin{aligned}
 E_{\text{total}} &= N_{\text{Batt}} \cdot E_{\text{Batt}} \\
 &= 12 \times 2.400 \\
 &= 28.800 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk mengubah arus searah yang dihasilkan oleh baterai maka diperlukan *inverter* DC to AC. *Inverter* ini harus memiliki daya yang mampu menjalankan kincir pada saat beban maksimal. Spesifikasi *inverter* yang akan digunakan adalah berikut :

Manufacture	: Victron Energy
Model	: Phoenix Enegry
Type	: 24 /5000
V Input	: 24 V
V Output	: 230 V
Frequecy	: 50 Hz
Continuous Power	: 3.000 W

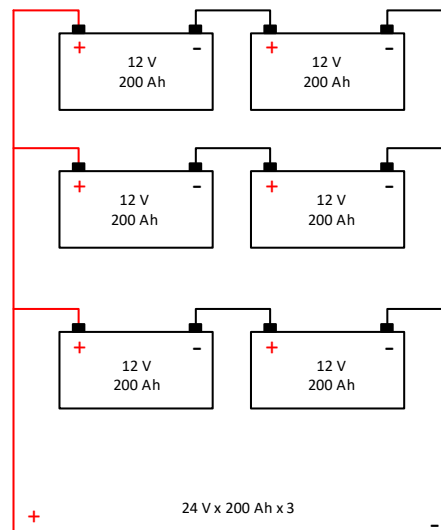
Perhitungan jumlah inverter yang dibutuhkan

$$N \text{ Inverter} = \frac{\text{Beban}}{\text{Daya Inverter}} = \frac{4.500}{3.000}$$

$$= 1,5 \quad \text{dibulatkan menjadi 2 Unit}$$

Masing-masing *inverter* akan di *supply* oleh 6 (enam) buah baterai dengan rangkaian Seri – Paralel, dimana setiap dua buah baterai disambung secara seri sehingga tegangan yang dihasilkan baterai menjadi 24 V sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan *inverter*. Kemudian ketiga rangkaian seri tersebut dirangkai secara paralel untuk meningkatkan kapasitas baterai menjadi 3 x 24 V x 200 Ah. Sehingga setiap satu sistem baterai akan mempunyai kapasitas total sebesar 14.400 Wh.

*Design* rangkaian baterai dalam satu sistem baterai seperti yang terlihat pada Gambar 4-10.



Gambar 4-10 Rangkaian Batterai

Untuk mengisi kembali energy baterai yang telah digunakan maka diperlukan peralatan pengisi daya (*Charging*). Peralatan yang akan digunakan sebagai pengisi daya memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Manufacture	: Victron Energy
Model	: Blue Solar Charge Controler
Type	: MPPT 150 /100
V Input	: 140 - 150 V
V Output	: 12 / 24 / 48 V
Charge Power	: 2.900 W at 24 V

Chager dengan spesifikasi diatas memiliki daya *charger* sebesar 2.900 Watt pada tegangan 24 V, sehingga energi yang dihasilkan dalam 5 jam adalah sebesar 14.500 Wh.

Agar pengisian baterai dapat berjalan sesuai dengan lama penyinaran matahari maka dalam satu sistem baterai dibutuhkan dua buah *charger*. Kebutuhan solar panel yang akan digunakan sebagai sumber energi untuk pengisian baterai maka harus disesuaikan dengan kapasitas yang mampu dihasilkan oleh panel surya.

Spesifikasi solar panel yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

Merk	: Sun Power E20/435
Model	: SPR-435NE-WHT-D
Rated Voltage	: 72.9 V
Rated Current	: 5.97 A
Efficiency	: 20.1 %
Power	: 435 W
Weight	: 25.4 kg

Jumlah panel yang dibutuhkan untuk menyediakan energi pada setiap *charger* adalah sebagai berikut :

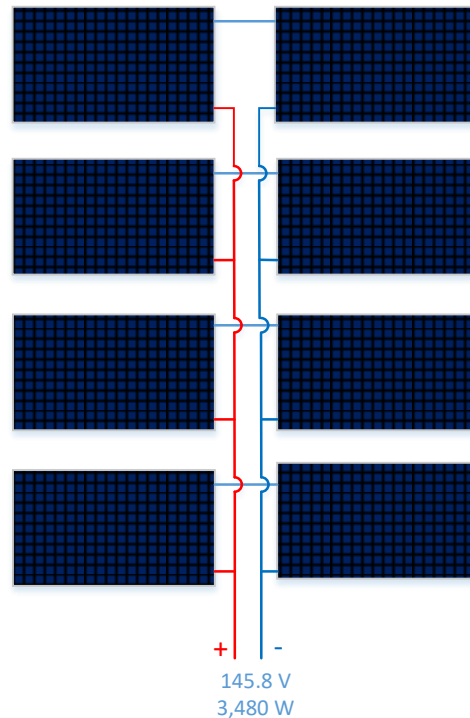
$$N_{PV} = \frac{\text{Charger power}}{\text{Panel Power}}$$

$$N_{PV} = \frac{2.900}{435}$$

= 6,7 dibulatkan menjadi 7 unit.

Kebutuhan jumlah panel surya dalam setiap sistem *charger* adalah sebanyak 7 unit panel surya, namun karena tegangan yang dibutuhkan oleh *charger* minimal 140 volt maka panel surya yang digunakan harus dirangkai secara seri setiap dua unit panel. Sehingga jumlah panel surya yang digunakan dalam setiap sistem *charger* adalah 8 unit. Total panel surya yang digunakan dalam satu sistem baterai adalah 16 unit.

Bentuk rangkaian panel surya dalam setiap sistem pengisian baterai dapat dilihat pada Gambar 4-11.



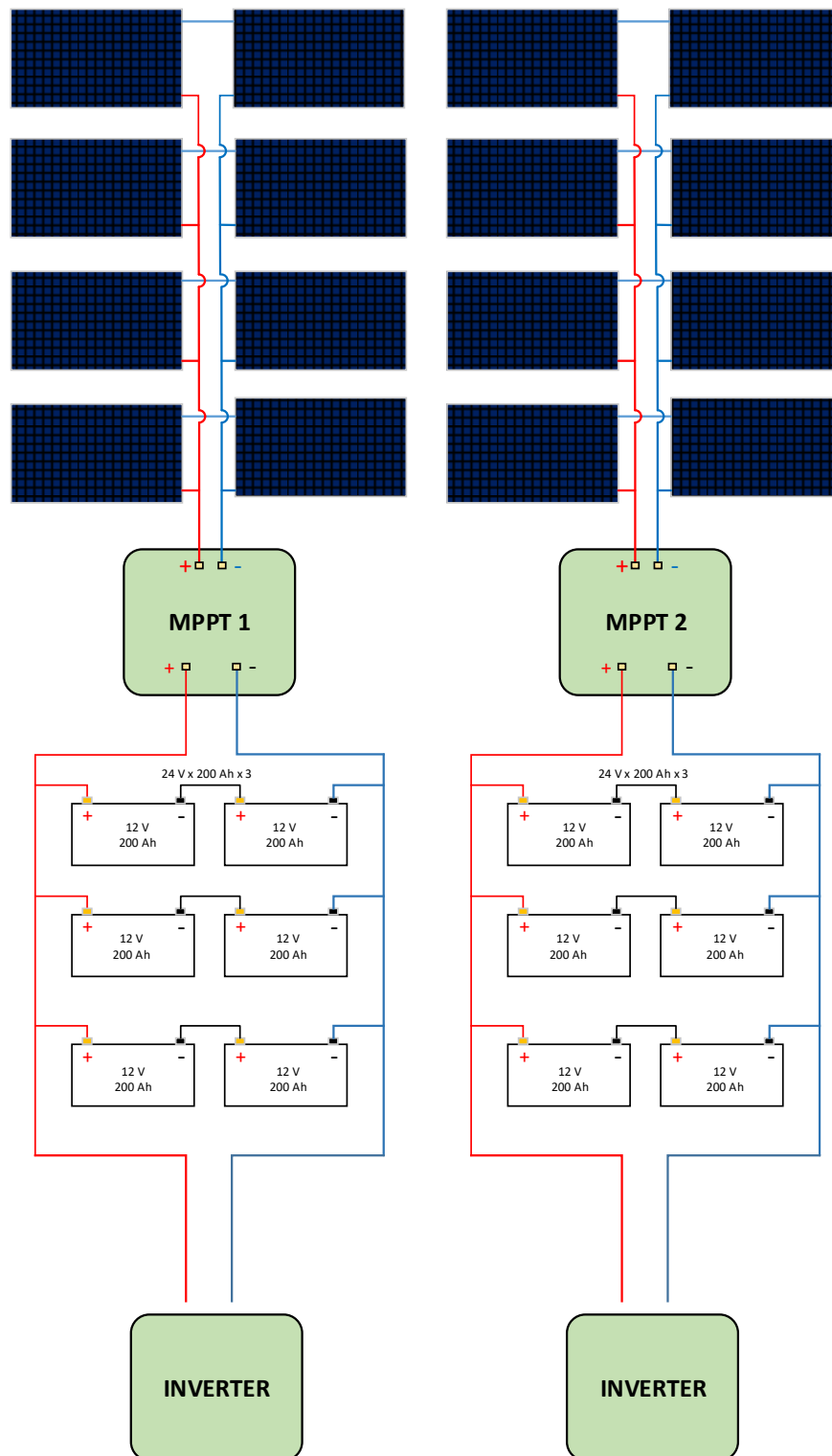
Gambar 4-11 Rangkaian panel surya pada sistem pengisian baterai

Untuk memenuhi kebutuhan energi selama 24 jam maka total komponen dan peralatan sistem baterai dan sistem *charger* yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4-7.

Tabel 4-7 Kebutuhan komponen pada sistem *Off-Grid*

No	Komponen	satuan	Kebutuhan	
			1 sistem baterai	4 sistem baterai
1	Panel surya	unit	16	64
2	Charrger/MPPT	unit	2	8
3	Batterai	unit	12	48
4	Inverter DC - AC	unit	2	2

Bentuk rangkaian panel surya dalam setiap sistem dapat dilihat pada Gambar 4-12.



Gambar 4-12 Rangkain panel surya sistem *Off-grid*

#### 4.2.2. Perhitungan sistem *On-Grid*

Untuk menghitung jumlah panel surya yang akan digunakan pada sistem *On-Grid* terlebih dahulu dihitung kebutuhan energi listrik yang akan digunakan selama proses pembesaran udang. Berdasarkan perhitungan kebutuhan energi seperti yang telah diuraikan pada Tabel 4-5, diketahui bahwa kebutuhan energi tertinggi berda pada hari ke 60 sampai dengan hari ke 120 dengan beban listrik sebesar 4,500 Watt. Untuk dapat mengoperasikan kincir-kincir pada saat beban maksimal tersebut maka dibutuhkan inveter listrik dari DC ke AC yang memiliki daya yang sama atau lebih besar dari beban maksimal. Sehingga dipilih *inverter* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Manufacture	: SunGrow
Model	: SG5KTL-D
Max. Input power	: 6500 W
Max. PV input voltage	: 600 V
Nominal Input Voltage	: 360 V
Nominal Volt range	: 260 – 480 V
Max. PV current	: 24 A
Nominal AC voltage	: 230 V (single phase)
Output voltage range	: 180 – 276 VAC
Frequecy	: 50 Hz
Power factor	: 0.99
Nominal AC Power	: 5.000 W

Pada Gambar 4-13 menampilkan *inverter* yang akan digunakan dalam pemanfaatan energi matahari sebagai sumber penggerak kincir yang direncanakan.



Gambar 4-13 *On-Grid Inverter* Sungrow SG5KTL-D

Tahap selanjutnya adalah menghitung berapa jumlah solar panel yang akan digunakan untuk menyuplai inverter. Dalam menentukan jumlah solar panel maka harus disesuaikan antara energi yang dibutuhkan oleh *inverter* dengan energi yang dihasilkan oleh panel surya.

Spesifikasi solar panel yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

Merk	: Sun Power E20/435
Model	: SPR-E20-435
Solar Cells	: 128 SunPower Maxeon™ Cells
Rated Voltage	: 72.9 V
Panel Efficiency	: 20.1 %
Rated Current	: 5.97 A
Open-Circuit Voltage	: 85.6 V
Maximum System Voltage	: 72.9 V
Peak Power (+/- 5%)	: 435 W
Dimensions	: 2.067 mm X 1.046 mm
Weight	: 25.4 kg



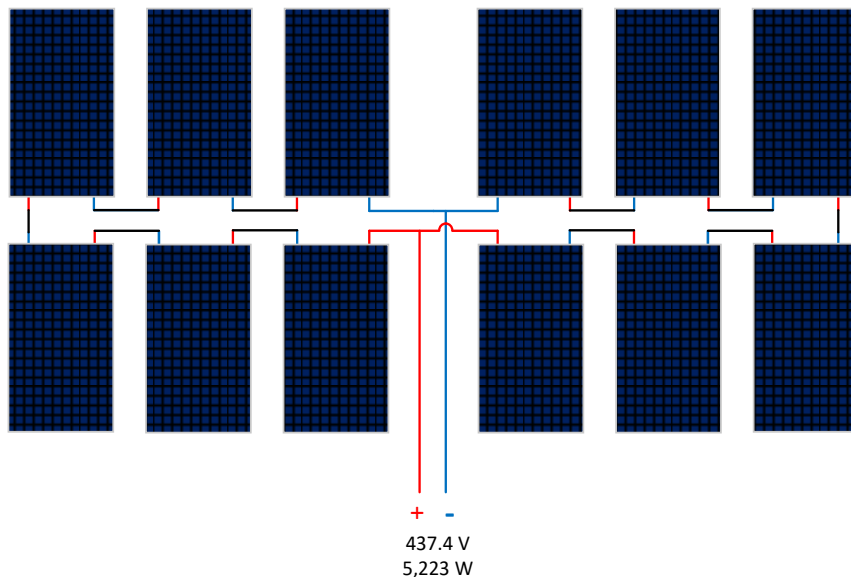
Berdasarkan spesifikasi panel surya yang akan digunakan maka selanjutnya menghitung jumlah panel yang dibutuhkan. Untuk menghitung jumlah panel yang dibutuhkan digunakan persamaan berikut :

$$N_{PV} = \frac{\text{Inverter power}}{\text{Panel Power}}$$

$$N_{PV} = \frac{5.000}{435}$$

= 11.5 dibulatkan menjadi 12 unit.

Total panel surya yang butuhkan sebanyak 12 unit. Untuk menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan oleh *inverter* dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya maka instalasi panel surya akan dirangkai secara seri untuk setiap 6 unit panel surya sehingga terdapat 2 (dua) pasang rangkaian panel surya secara seri yang menghasilkan tegangan 437.4 Volt. Kemudian kedua rangkaian seri ini dirangkai secara paralel. Rangkaian panel surya yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 4-14.



Gambar 4-14 Rangkaian Panel Surya sistem *On-Grid*

### 4.3. Analisa Ekonomis

Analisa ekonomi yang digunakan untuk mengetahui apakah perancangan *converter* dengan tenaga surya layak atau tidak layak untuk dikerjakan. Parameter yang dianalisa adalah harga produk, analisa BEP (*Break Event Point*) dan analisa NPV (*Net Present Value*).

#### 4.3.1. Harga Produk

Penentuan harga produk didasarkan pada harga pokok produksi, harga pokok penjualan dan keuntungan. Pada Tabel 4-8 dapat dilihat komponen-komponen yang menentukan harga *converter* yang akan dirancang bangun.

Tabel 4-8 Struktur Pembentuk Harga *Converter*

No	Uraian	Jumlah	Harga
<b>1</b>	<b>Biaya Bahan Langsung</b>		
	Panel Box	1 pcs	250,000.00
	Capasitor AC 25 $\mu$ F	1 pcs	45,000.00
	Capasitor AC 35 $\mu$ F	1 pcs	55,000.00
	MCB 6 A	1 pcs	25,000.00
	Over current relay	1 pcs	95,000.00
	Timer relay	1 pcs	190,000.00
	Magnetic contactor	1 pcs	110,000.00
	Kabel NYA	4 m	10,000.00
	Indicator lamp	1 pcs	50,000.00
	Tenaga Kerja Langsung	1 org	500,000.00
	Harga Pokok Produksi		1,330,000.00
<b>2</b>	<b>Biaya Overhead produksi</b>	10%	133,000.00
	Administrasi umum dan penjualan	10%	133,000.00
	Harga Pokok Penjualan		1,596,000.00
<b>3</b>	<b>Keuntungan</b>	25%	399,000.00
	<b>Harga Jual Produk</b>		<b>1,995,000.00</b>
	<b>Pembulatan</b>		<b>2,000,000.00</b>

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa harga jual dari *static phase converter* adalah sebesar Rp. 2.000.000,00. Harga jual produk yang ditetapkan ini masih lebih murah dibandingkan dengan harga *static phase converter* yang dijual oleh pabrikan yaitu Rp. 3,536,600,- (harga ebay Indonesia 14 Juli 2018).

#### 4.3.2. BEP (*Break Event Point*)

Analisa titik impas dilakukan untuk memprediksi apakah usaha yang diusulkan dapat mengembalikan investasi yang dikeluarkan. Ada 3 (tiga) model usaha pembesaran udang yang dianalisa yaitu : analisa usaha dengan menggunakan *converter* dan panel surya secara *Off-Grid*, analisa usaha menggunakan *converter* dengan panel surya secara *On-Grid* dan PLN, analisa usaha dengan menggunakan generator dan analisa usaha bila menggunakan *converter* dengan supplay dari PLN secara penuh.

##### a. Analisa usaha dengan *converter* dan panel surya dengan sistem *Off-Grid*

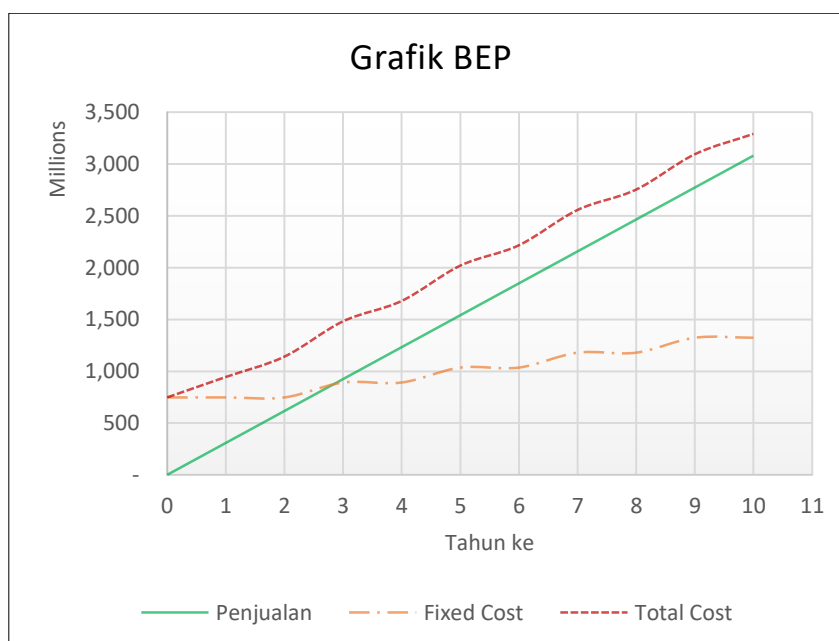
Rincian analisa usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dan memanfaatkan energi matahari secara *Off-Grid* dapat dilihat pada Tabel 4-9.

Tabel 4-9 Analisa usaha dengan solar panel sistem Off-Grid

No	Komponen Biaya	satuan	Jumlah	Harga satuan	Harga total
<b>1</b>	<b><i>Fixed Cost</i></b>				
	Sewa Lahan 2.000 m <sup>2</sup>	tahun	10	7,500,000	75,000,000
	Kincir tambak	unit	6	5,000,000	30,000,000
	Pompa Air laut 6" dan instalasi	unit	1	12,000,000	12,000,000
	<i>Static phase converter</i>	unit	6	2,000,000	12,000,000
	Panel Surya	panel	64	6,250,000	400,000,000
	Charger MPPT	unit	8	5,000,000	40,000,000
	Baterai	unit	48	3,000,000	144,000,000
	<i>Inverter Off-Grid</i>	unit	2	12,500,000	25,000,000
	Perlengkapan Tambak	paket	1	10,000,000	10,000,000
	Total Fixed Cost				748,000,000
<b>2</b>	<b><i>Variable Cost</i></b>				
	Persiapan lahan	kegiatan	1	2,000,000	2,000,000
	Benur	ekor	120,000	50	6,000,000
	Pakan (kg)	kg	4,800	16,000	76,800,000
	Perawatan kincir	%	10%	3,000,000	3,000,000
	Perawatan Pompa	%	10%	1,200,000	1,200,000
	Perawatan Static Converter	%	3%	360,000	360,000
	Perawatan Perlengkapan Tambak	%	10%	1,000,000	1,000,000
	Gaji Karyawan	orang	1	8,000,000	8,000,000

No	Komponen Biaya	Satuan	Jumlah	Harga satuan	Harga Total
	Total <i>Variable Cost</i> per siklus				98,360,000
	VC 1 tahun (2 siklus)				196,720,000
	Total Cost 1 tahun (FC+VC)				944,720,000
<b>3</b>	<b>Produksi</b>				
	Panen per siklus (70%)	kg	2,800		154,000,000
	Panen 1 tahun (2 siklus)				308,000,000
<b>Break Event Point (BEP)</b>					
	<i>Quantity</i>				15.78
	<i>Price</i>				4,860,244,428

Nilai BEP investasi usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dan pemanfaatan energi matahari dengan sistem *Off-Grid* tercapai pada tahun ke 15,78 melebihi jangka waktu yang ditetapkan yaitu 10 tahun. Grafik BEP usaha dengan sistem *off-grid* ini dapat dilihat pada Gambar 4-15. Berdasarkan hasil analisa ini dapat diambil kesimpulan bahwa rencana investasi usaha pembesaran udang dengan memanfaatkan tenaga surya secara *Off-Grid* tidak layak untuk dijalankan.



Gambar 4-15 Grafik BEP Usaha dengan panel surya sistem *Off-Grid*

**b. Analisa usaha dengan panel surya sistem *On-Grid* dan PLN**

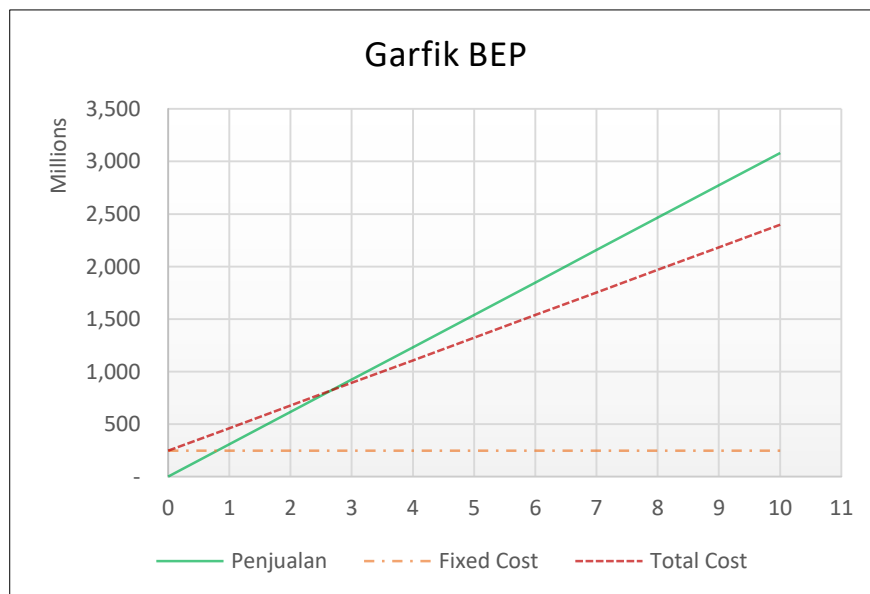
Rincian analisa usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dan memanfaatkan energi matahari sistem *On-Grid* dan menggunakan listrik PLN satu fasa dapat dilihat pada Tabel 4-10.

Tabel 4-10 Analisa usaha dengan solar panel sistem *On-grid* dan PLN

No	Komponen Biaya	Satuan	JLH	Harga satuan	Harga total
<b>1</b>	<b><i>Fixed Cost</i></b>				
	Sewa Lahan 2.000 m <sup>2</sup>	tahun	10	7,500,000	75,000,000
	Kincir tambak (unit)	unit	6	5,000,000	30,000,000
	Pompa Air laut 6" dan instalasi	unit	1	12,000,000	12,000,000
	<i>Static phase converter</i>	unit	6	2,000,000	12,000,000
	Panel Surya	panel	12	6,250,000	75,000,000
	Inverter ON-Grid	unit	1	25,000,000	25,000,000
	Perlengkapan Tambak	paket	1	10,000,000	10,000,000
	Pemasangan Listrik 1 fasa 5.500 VA	kali	1	7,000,000	7,000,000
	Total <i>Fixed Cost</i>				246,000,000
<b>2</b>	<b><i>Variable Cost Siklus 1</i></b>				
	Persiapan lahan	kegiatan	1	2,000,000	2,000,000
	Benur	ekor	120,000	50	6,000,000
	Pakan	kg	4,800	16,000	76,800,000
	Perawatan kincir	%	10%	3,000,000	3,000,000
	Perawatan Pompa	%	10%	1,200,000	1,200,000
	Perawatan <i>Static Converter</i>	%	3%	360,000	360,000
	Perawatan Panel Surya	%	1%	750,000	750,000
	Perawatan <i>Inverter On-Grid</i>	%	1%	250,000	250,000
	Perawatan perlengkapan tambak	%	10%	1,000,000	1,000,000
	Biaya Listrik (1,500/kWh)	kWh	5,466	1,500	8,198,408
	Gaji Karyawan (orang)	orang	1	8,000,000	8,000,000
	Total <i>Variable Cost</i> Siklus ke-1				107,558,408
	<b><i>Variable Cost Siklus 2</i></b>				
	Persiapan lahan	kegiatan	1	2,000,000	2,000,000
	Benur	ekor	120,000	50	6,000,000
	Pakan	kg	4,800	16,000	76,800,000
	Perawatan kincir	%	10%	3,000,000	3,000,000
	Perawatan Pompa	%	10%	1,200,000	1,200,000

No	Komponen Biaya	Satuan	JLH	Harga satuan	Harga total
	Perawatan <i>Static Converter</i>	%	3%	360,000	360,000
	Perawatan Panel Surya	%	1%	750,000	750,000
	Perawatan <i>Inverter On-Grid</i>	%	1%	250,000	250,000
	Perawatan perlengkapan tambak	%	10%	1,000,000	1,000,000
	Biaya Listrik (1,500/kWh)	kWh	5,539	1,500	8,308,481
	Gaji Karyawan	orang	1	8,000,000	8,000,000
	Total <i>Variable Cost</i> Siklus ke-2				107,668,481
	VC 1 tahun (siklus 1 + Siklus 2)				215,226,889
	Total Cost 1 tahun (FC+VC)				461,226,889
<b>3</b>	<b>Produksi</b>				
	Panen per siklus (SR 70%)	kg	2,800	55,000	154,000,000
	Panen 1 tahun (2 siklus)				308,000,000
<b>Break Event Point (BEP)</b>					
	<i>Quantity</i>				2.65
	<i>Price</i>				816,702,156

Nilai BEP investasi usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dan pemanfaatan energi matahari dengan sistem *On-Grid* dan menggunakan listrik PLN diperoleh BEP dalam waktu 2.65 tahun dengan nilai penjualan total sebesar Rp. 816,702,156. Grafik nilai BEP dari usaha ini dapat dilihat pada Gambar 4-16.



Gambar 4-16 Grafik BEP Usaha dengan panel surya sistem *On-Grid* dan PLN

**c. Analisa Usaha dengan menggunakan generator**

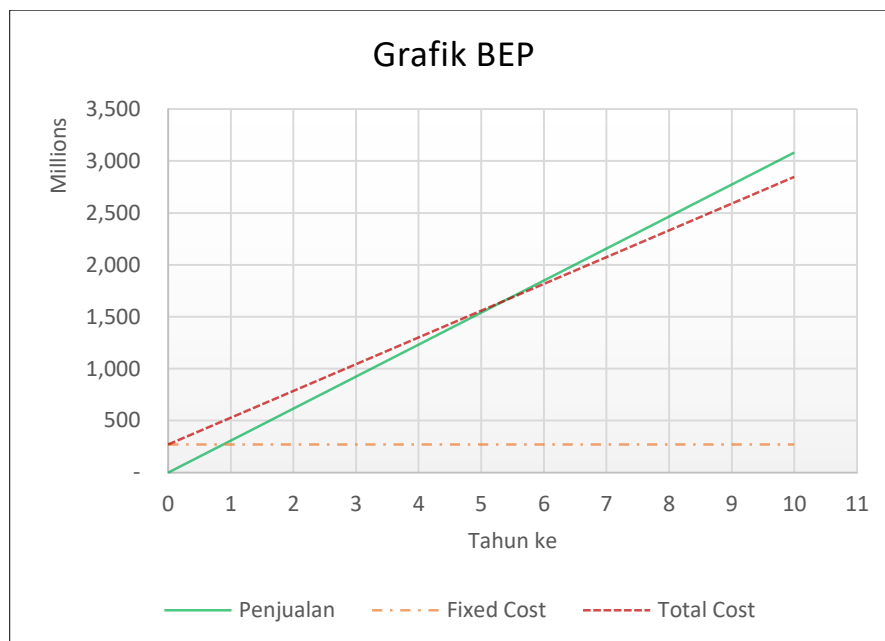
Rincian analisa usaha pembesaran udang dengan menggunakan generator sebagai sumber listrik tanpa menggunakan sumber listrik lain dapat dilihat pada Tabel 4-11.

Tabel 4-11 Analisa usaha dengan menggunakan generator

No	Komponen Biaya	satuan	JLH	Harga satuan	Harga total
<b>1</b>	<b><i>Fixed Cost</i></b>				
	Sewa Lahan 2.000 m <sup>2</sup>	tahun	10	7,500,000	75,000,000
	Kincir tambak	unit	6	5,000,000	30,000,000
	Pompa Air laut 6"	unit	1	12,000,000	12,000,000
	Genertor 3 fasa 8 KVA	unit	2	71,000,000	142,000,000
	Perlengkapan Tambak	paket	1	10,000,000	10,000,000
	Total <i>Fixed Cost</i>				269,000,000
<b>2</b>	<b><i>Variable Cost</i></b>				
	Persiapan lahan	kegiatan	1	2,000,000	2,000,000
	Benur	ekor	120,000	50	6,000,000
	Pakan	kg	4,800	16,000	76,800,000
	Perawatan kincir	%	10%	3,000,000	3,000,000
	Perawatan pompa air laut	%	10%	1,200,000	1,200,000
	Perawatan Generator	%	3%	3,550,000	3,550,000
	Perawatan perlengkapan tambak	%	10%	1,000,000	1,000,000
	Bahan Bakar Generator	liter	5,300	5,150	27,295,000
	Gaji Karyawan	orang	1		8,000,000
	Total Variable Cost per siklus				128,845,000
	Total Variable Cost 1 tahun (2 siklus)				257,690,000
	Total Cost 1 tahun (FC+VC)				526,690,000
<b>3</b>	<b><i>Produksi</i></b>				
	Panen per siklus (SR 70%)		2,800		154,000,000
	Panen 1 tahun (2 Siklus)				308,000,000
<b><i>Break Event Point (BEP)</i></b>					
	<i>Quantity</i>				5.35
	<i>Price</i>				1,646,829,656

Nilai BEP terhadap investasi usaha pembesaran udang dengan menggunakan generator diperoleh dalam jangka waktu 5.35 tahun dengan nilai

penjualan sebesar Rp. 1,646,829,656. Grafik BEP usaha dengan menggunakan generator dapat dilihat pada Gambar 4-17.



Gambar 4-17 Grafik BEP usaha dengan menggunakan generator

#### d. Analisa Usaha menggunakan *converter* dan PLN

Rincian analisa usaha pembesaran udang menggunakan *static phase converter* dengan menggunakan listrik PLN satu fasa dapat dilihat pada Tabel 4-12.

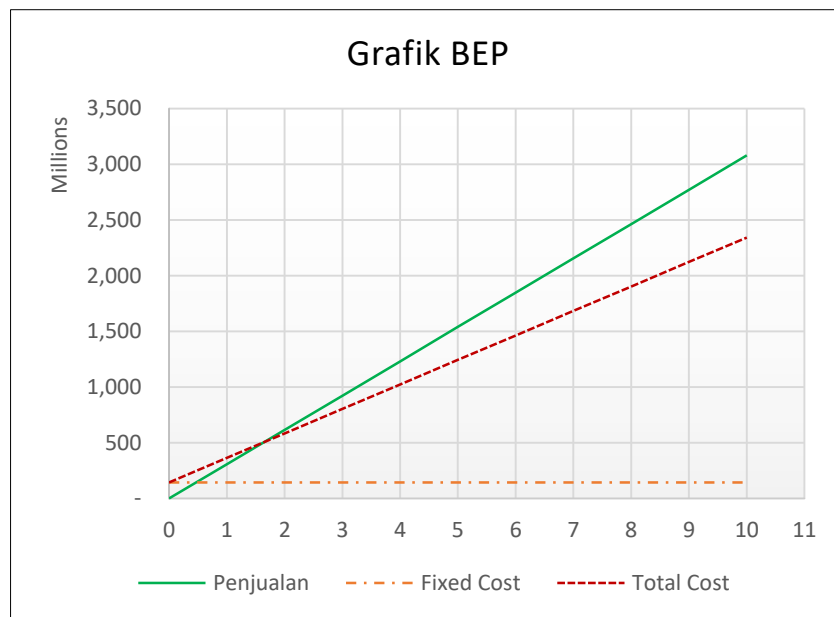
Tabel 4-12 Analis usaha menggunakan converter dengan listrik PLN

No	Komponen Biaya	satuan	JLH	Harga satuan	Harga total
<b>1</b>	<b><i>Fixed Cost</i></b>				
	Sewa Lahan 2.000 m <sup>2</sup>	tahun	10	7,500,000	75,000,000
	Kincir tambak	unit	6	5,000,000	30,000,000
	Pompa Air laut 6"	unit	1	12,000,000	12,000,000
	<i>Static phase converter</i>	unit	6	2,000,000	12,000,000
	Perlengkapan Tambak	paket	1	10,000,000	10,000,000
	Pemasangan Listrik 1 fasa 5.500 VA	kali	1	7,000,000	7,000,000
	<b>Total Fixed Cost</b>				<b>146,000,000</b>



No	Komponen Biaya	satuan	JLH	Harga satuan	Harga total
<b>2</b>	<b><i>Variable Cost</i></b>				
	Persiapan lahan	kegiatan	1		2,000,000
	Benur	ekor	120,000		6,000,000
	Pakan	kg	4,800		76,800,000
	Perawatan kincir	%	10%		3,000,000
	Perawatan pompa air laut	%	10%		1,200,000
	Perawatan <i>Static phase converter</i>	%	10%		1,200,000
	Perawatan perlengkapan tambak	%	10%		1,000,000
	Biaya Listrik	kWh	7,128	1,500	10,692,000
	Gaji Karyawan	orang	1		8,000,000
	Total <i>Variable Cost</i> per siklus				109,892,000
	Total <i>Variable Cost</i> 1 tahun (2 siklus)				219,784,000
	Total Cost 1 tahun (FC+VC)				365,784,000
<b>3</b>	<b><i>Produksi</i></b>				
	Panen per siklus	kg	2,800		154,000,000
	Panen Per tahun				308,000,000
<b><i>Break Event Point (BEP)</i></b>					
	<i>Quantity</i>				1.66
	<i>Price</i>				509,748,798

Nilai BEP investasi usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dengan hanya menggunakan listrik dari PLN diperoleh BEP dalam waktu 1.66 tahun dengan nilai penjualan total sebesar Rp. 509,748,798. Grafik nilai BEP dari usaha ini dapat dilihat pada Gambar 4-18.



Gambar 4-18 Grafik BEP usaha dengan *converter* dan PLN

Berdasarkan analisa keempat model usaha yang dilakukan dapat diketahui bahwa usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dan pemanfaatan energi matahari dengan sistem Off-Grid tidak memperoleh BEP hingga tahun ke 10. Usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dan pemanfaatan energi matahari dengan sistem *On-Grid* dan menggunakan listrik PLN diperoleh BEP dalam waktu 2.65 tahun. Usaha pembesaran udang dengan menggunakan generator diperoleh dalam jangka waktu 5.35 tahun dan usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dengan hanya menggunakan listrik dari PLN diperoleh BEP dalam waktu 1.66 tahun.

#### 4.3.3. NPV (*Net Present Value*)

Analisa NPV digunakan untuk memprediksi model usaha yang paling menguntungkan dari kedua model usaha yang mampu memperoleh BEP tersebut. Model usaha yang menghasilkan nilai NPV paling tinggi merupakan metode usaha yang paling menguntungkan. Pada perhitungan NPV ini besar bunga diskonto dianggap flat sebesar 5% setiap tahun.

**a. Analisa usaha dengan converter dan panel surya dengan sistem *Off-Grid***

Nilai NPV pada usaha pembesaran udang dengan metode menggunakan *static phase converter* dengan memanfaatkan energi Matahari dengan sistem *Off-Grid* dan PLN dapat dilihat pada Tabel 4-13.

Tabel 4-13 Analisa NPV usaha dengan solar panel sistem *On-Grid*

Tahun ke-	Investasi	Cash Flow	Present Value		
			Factor	PV	NPV
0	748,000,000	-748,000,000	100%	-748,000,000	-748,000,000
1		111,280,000	95%	105,980,952	-642,019,048
2		111,280,000	91%	100,934,240	-541,084,807
3	144,000,000	-32,720,000	86%	-28,264,766	-569,349,573
4		111,280,000	82%	91,550,331	-477,799,242
5	144,000,000	-32,720,000	78%	-25,636,976	-503,436,218
6		111,280,000	75%	83,038,849	-420,397,369
7	144,000,000	-32,720,000	71%	-23,253,493	-443,650,862
8		111,280,000	68%	75,318,684	-368,332,178
9	144,000,000	-32,720,000	64%	-21,091,604	-389,423,782
10		111,280,000	61%	68,316,267	-321,107,515
			Discount rate		5%
			NPV		-321,107,515
			Investasi		Tidak Layak

**b. Analisa usaha dengan panel surya sistem *On-Grid* dan PLN**

Nilai NPV pada usaha pembesaran udang dengan metode menggunakan *static phase converter* dengan memanfaatkan energi Matahari dengan sistem *On-Grid* dan PLN dapat dilihat pada Tabel 4-14.

Tabel 4-14 Analisa NPV usaha dengan solar panel sistem *On-Grid* dan PLN

Tahun ke-	Investasi	Cash Flow	Present Value		
			Factor	PV	NPV
0	246,000,000	-246,000,000	100%	-246,000,000	-246,000,000
1		92,773,111	95%	88,355,344	-157,644,656
2		92,773,111	91%	84,147,947	-73,496,709
3		92,773,111	86%	80,140,902	6,644,192
4		92,773,111	82%	76,324,668	82,968,861
5		92,773,111	78%	72,690,160	155,659,021
6		92,773,111	75%	69,228,724	224,887,745

7	92,773,111	71%	65,932,118	290,819,863
8	92,773,111	68%	62,792,493	353,612,356
9	92,773,111	64%	59,802,375	413,414,731
10	92,773,111	61%	56,954,643	470,369,374
Discount rate				5%
NPV				470,369,374
Investasi				Layak

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 4-14 diketahui bahwa nilai NPV bernilai positif maka secara ekonomi investasi dengan metode ini layak untuk dilakukan.

### c. Analisa usaha dengan menggunakan generator

Nilai NPV pada usaha pembesaran udang dengan metode menggunakan generator dapat dilihat pada Tabel 4-15.

Tabel 4-15 Analisa NPV usaha dengan Generator

Tahun ke-	Investasi	Cash Flow	Present Value		
			Factor	PV	NPV
0	269,000,000	-269,000,000	100%	-269,000,000	-269,000,000
1		50,310,000	95%	47,914,286	-221,085,714
2		50,310,000	91%	45,632,653	-175,453,061
3		50,310,000	86%	43,459,670	-131,993,392
4		50,310,000	82%	41,390,162	-90,603,230
5		50,310,000	78%	39,419,201	-51,184,029
6		50,310,000	75%	37,542,097	-13,641,932
7		50,310,000	71%	35,754,378	22,112,446
8		50,310,000	68%	34,051,788	56,164,234
9		50,310,000	64%	32,430,275	88,594,509
10		50,310,000	61%	30,885,976	119,480,484
Discount rate				5%	
NPV				119,480,484	
Investasi				Layak	

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 4-15 diketahui bahwa nilai NPV bernilai positif maka secara ekonomi investasi dengan metode ini layak untuk dilakukan.

**d. Analisa usaha dengan menggunakan *converter* dan PLN**

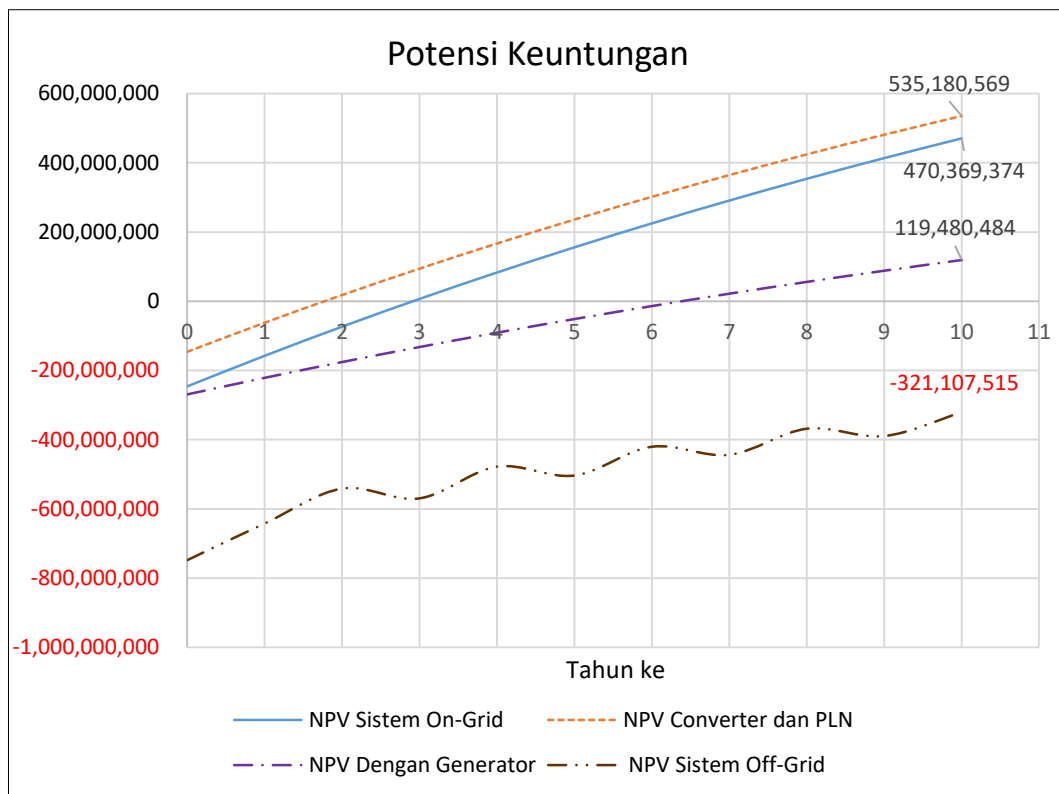
Nilai NPV pada usaha pembesaran udang dengan metode menggunakan *converter* dan PLN dapat dilihat pada Tabel 4-16.

Tabel 4-16 Analisa NPV dengan *Converter* dan PLN

Tahun ke-	Investasi	Cash Flow	Present Value		
			Factor	PV	NPV
0	146,000,000	-146,000,000	100%	-146,000,000	-146,000,000
1		88,216,000	95%	84,015,238	-61,984,762
2		88,216,000	91%	80,014,512	18,029,751
3		88,216,000	86%	76,204,298	94,234,048
4		88,216,000	82%	72,575,522	166,809,570
5		88,216,000	78%	69,119,544	235,929,114
6		88,216,000	75%	65,828,137	301,757,251
7		88,216,000	71%	62,693,464	364,450,716
8		88,216,000	68%	59,708,061	424,158,777
9		88,216,000	64%	56,864,820	481,023,597
10		88,216,000	61%	54,156,972	535,180,569
			Discount rate		5%
			NPV		535,180,569
			Investasi		Layak

Berdasarkan data yang terlihat pada Tabel 4-16 diketahui bahwa nilai NPV usaha dengan menggunakan *converter* dan listrik PLN tanpa solar sistem bernilai positif maka secara ekonomi investasi dengan metode ini layak untuk dilakukan.

Dari hasil analisa NPV diketahui bahwa jenis metode usaha dengan menggunakan *converter* dan panel surya sistem *Off-Grid* menghasilkan nilai  $NPV < 0$  sehingga tidak layak untuk dikerjakan. Sedangkan metode usaha dengan menggunakan *converter* dan panel surya sistem *On-Grid*, dengan menggunakan generator dan dengan menggunakan *converter* dan PLN tanpa panel surya menghasilkan nilai  $NPV > 0$  sehingga semua metode tersebut layak untuk dikerjakan, namun untuk mendapatkan keuntungan yang paling besar maka dipilih metode yang memiliki nilai NPV yang paling besar. Perbandingan Nilai NPV dari keempat model usaha pembesaran udang tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-19.



Gambar 4-19 Nilai NPV usaha pembesaran udang

Berdasarkan grafik pada Gambar 4-18 diketahui bahwa usaha pembesaran udang dengan menggunakan *converter* dengan listrik PLN tanpa panel surya menghasilkan keuntungan paling besar, nilai keuntungan NPV pada tahun ke-10 sebesar Rp. 535,180,556. Jika usaha pembesaran udang dengan menggunakan panel surya sistem *On-Grid* pada tahun ke-10 menghasilkan keuntungan dengan nilai NPV Rp. 318,405,630 sedangkan keuntungan jika menggunakan generator pada tahun ke-10 adalah sebesar Rp. 119,480,484.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan dalam pelaksanaan rancang bangun *static phase converter* dengan memanfaatkan energi matahari yang telah dijabarkan dalam pembahasan pada Bab 4, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil rancang bangun *static phase converter* telah berhasil diterapkan dengan menggunakan *capasitor starting* dan *capasitor running*. Kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk *starting* adalah sebesar 60  $\mu\text{F}$  dan kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk *running* adalah sebesar 25  $\mu\text{F}$ .
2. Kebutuhan panel surya sebagai sumber energi untuk menggerakkan kincir adalah sebagai berikut :
  - 2.1. Jika menggunakan sistem *Off-Grid* dimana semua kebutuhan listrik diperoleh dari sistem surya selama 24 jam maka kebutuhan komponen solar sistem adalah sebanyak 64 buah panel surya, 8 buah *charger*, 48 baterai dan 2 buah inverter *Off-Grid*.
  - 2.2. Jika menggunakan sistem *On-Grid* dimana listrik diperoleh dari solar sistem dan PLN maka kebutuhan komponen solar sistem adalah sebanyak 12 buah panel surya dan 1 buah inverter *On-Grid*.
3. Berdasarkan hasil analisa teknis penggunaan *static phase converter* dan pemanfaatan energi matahari baik secara tidak langsung (*Off-Grid system*) maupun secara langsung (*On-Grid system*) dapat berjalan dengan baik, tetapi berdasarkan analisa ekonomi diperoleh hasil sebagai berikut :



- 3.1. Investasi usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dan pemanfaatan energi matahari dengan sistem *Off-Grid* selama 24 jam akan tercapai pada tahun ke 15,78 namun ini melebihi jangka waktu yang ditetapkan yaitu 10 tahun sehingga investasi dengan metode ini tidak layak untuk dikerjakan.
- 3.2. Investasi usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dan pemanfaatan energi matahari dengan sistem *On-Grid* dan PLN memperoleh BEP dalam waktu 2.65 tahun dengan nilai penjualan total sebesar Rp. 816,702,156. Nilai NPV pada tahun ke-10 dengan tingkat bunga diskonto 5% adalah sebesar Rp. 318,405,630.
- 3.3. Investasi usaha pembesaran udang dengan menggunakan generator sebagai sumber listrik memperoleh BEP dalam waktu 5.35 tahun dengan nilai penjualan sebesar Rp. 1,646,829,656. Nilai NPV pada tahun ke-10 dengan tingkat bunga diskonto 5% adalah sebesar Rp. 119,480,484.
- 3.4. Investasi usaha pembesaran udang dengan menggunakan *static phase converter* dengan hanya menggunakan listrik dari PLN diperoleh BEP dalam waktu 1.66 tahun dengan nilai penjualan total sebesar Rp. 509,748,798. Nilai NPV pada tahun ke-10 dengan tingkat bunga diskonto 5% adalah sebesar Rp. 535,180,556.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-turki, Y.A. & Al-umari, H., 2000. Application of the reference frame theory to the dynamic analysis of a three-phase induction motor fed from a single-phase supply. *Electric Power Systems Research*, 53, pp.149–156.
- Anthony, Zuriman. 2008. “Perancangan Kapasitor Jalan Untuk Mengoperasikan Motor Induksi 3-Fasa Pada Sistem Tenaga 1-Fasa.” *Jurnal Teknik Elektro* 8 (1): 46–51.
- Arochman, 2013. *Alat Praktikum Pengendali Motor Induksi Tiga Fasa Untuk Hubungan Star Delta dan Berurutan*. Universitas Negeri Semarang.
- Baliao, D.D. & Tookwinas, S., 2002. *Manajemen Budidaya Udang yang Baik dan Ramah Lingkungan di Daerah Mangrove*, Aquaculture Departement: Shoutheast Asian Fisheries Development Center.
- Blank, L., & Taraquin, A. (2012). *Engineering Economy* (seventh ed). Texas: McGraw-Hill.
- BMKG. 2017. *Laporan Iklim Harian Aceh 2017*. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.
- BPPT. 2017. *Outlook Energi Indonesia 2017*. Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia.
- Chenni, R., M. Makhlouf, T. Kerbach, and A. Bouzid. 2007. “A Detailed Modeling Method for Photovoltaic Cells.” *Energy* 32(9):1724–30.
- Christianto, S.A., 2013. *Pengoperasian Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Sistem Tenaga 1 Fasa*. Universitas Sanata Dharma.
- Harten, P. Van & Setiawan, I.E., 1978. *Instalasi Listrik Arus Kuat*, Jakarta: CV. Trimitra Mandiri.
- Hopkins, J. Stephen, Alvin D. Stokes, Craig L. Browdy, and Paul A. Sandifer. 1991. “The Relationship between Feeding Rate, Paddlewheel Aeration Rate and Expected Dawn Dissolved Oxygen in Intensive Shrimp Ponds.” *Aquacultural Engineering* 10 (4): 281–90. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(91\)90017-E](https://doi.org/10.1016/0144-8609(91)90017-E).

- Hiware, Rohit Y, Dhairyasheel S Patil, Dhanaji Y Shirke, and Prof Y N Burali. 2017. "Operating Three Phase Induction Motor on Single Phase Supply ( For Star Connection )" 5 (iii): 731–37.
- Jr, E.C. dos santos, Silva, E.R.C. da & Rocha, N., 2012. Single-Phase to Three-Phase Power Converters: State of the Art. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, 27(5).
- Khalifa, H.Q., Sudiharto, I. & Suhariningsih, 2013. Rancang Bangun Kincir Air Otomatis untuk Sirkulasi Udara pada Tambak Udang. *Jurnal Elektro PENS*, 2.
- Mali, Sambhaji B, Rohit Y Hiware, Dhairyasheel S Patil, Dhanaji Y Shirke, and Prof Y N Burali. 2017. "Operating Three Phase Induction Motor on Single Phase Supply (For Star Connection)." *International Journal of Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)* 5 (III): 731–37.
- Meiners, L., 2014. *Phase Conversion Technology Overview*, National Institute of Technology, Thuvakudi, India.
- Mohan, N., 2014. Analysis, Control, and Modeling Using MATLAB/Simulink. *Advanced Electric Drives*.
- Munawir, S. (2010). *Analisa Laporan Keuangan* (keempat). Yogyakarta: Liberty.
- Murachman, Nuhfil, H. & Syahri, M., 2010. *Model Polikultur Udang Windu (Penaeus monodon Fab), Ikan Bandeng (Chanos-chanos Forskal) dan Rumput Laut (Gracillaria Sp.) Secara Tradisional*. Universitas Brawijawa.
- Ohta, Shimizu. 1985. "Temperature Classes of Electrical Insulators." *Three Bond Technical News*, no. 13.
- Patil, S.B. & Aspalil, M.S., 2012. Operating Three Phase Induction Motor Connected to Single Phase Supply. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(11), pp.523–528.
- Prihatman, K., 2000. *Budidaya Udang Windu ( Palaemonidae / Penaeidae )*, BAPPENAS - JAKARTA.
- Pucar, M.D.J. & Despic, A.R., 2002. The enhancement of energy gain of solar collectors and photovoltaic panels by the reflection of solar beams. *Energy*, 27(3), pp.205–223.

- Pujawan, I. N. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember) (2008). *Ekonomi Teknik* (kedua). Penerbit Guna Widya.
- Purnanta, H., 2017. *Perancangan Inverter Tiga Fasa Menggunakan Metode Hysteresis Space Vector Pulse Width Modulation Untuk Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Scheda, F.A. 1985. "Operating 3 Phase Motors on 1 Phase Power." *EC&M*, 40–41.
- Takaishi, T., Nakano, R. & Numata, A., 2008. Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines. *Tehcnical Review - Mitsubishi Heavy Industri, Ltd*, 45.
- Wyn, Naung Cho, and Tun Lin Naing. 2008. "Single Phase to Three Phase Converter." *World Academy of Science, Engineering and Technology* 18: 343–347.
- Yadav, A.K., Wadgure, N. & Kamdi, P., 2015. Conversion of Single Phase to Three phase Supply. *International Journal of Research in Advent Technology*.
- Yahya, S. & Tohir, T., 2007. Rancangan Bangun Pengubah Satu Fasa Ke Tiga Fasa dengan Motor Induksi Tiga Fasa. *Seminar Nasional TEKNOIN*.
- Younes, S., Claywell, R. & Muneer, T., 2005. Quality control of solar radiation data: Present status and proposed new approaches. *Energy*, 30(9 SPEC. ISS.), pp.1533–1549.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Iklim Harian di Propinsi Aceh Tahun 2017

#### Data Iklim Harian Bulan Januari 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/01/2017	23.6	32	26.9	85	9999	7.4
96011	02/01/2017	22.8	31.2	26.5	85	74.8	4
96011	03/01/2017	23.8	30.2	25.5	90	2	2.7
96011	04/01/2017	24	26.8	24.5	93	9999	4.5
96011	05/01/2017	20.6	31.6	25.6	89	9.5	
96011	06/01/2017	22.4	27.4	24.8	90	39.6	3
96011	07/01/2017	22.4	9999	25.2	93	22.4	
96011	08/01/2017	22.8	31	26.7	83	21.5	
96011	09/01/2017	23.2	32.8	28.3	74	9999	
96011	10/01/2017	9999	20.4	25.7	72	9999	9
96011	11/01/2017	20.1	32.6	26.1	76	9999	10
96011	12/01/2017	22.4	31.9	25.6	88	8888	6
96011	13/01/2017	22.4	29.4	26.1	88	9.3	3.6
96011	14/01/2017	24	9999	26.4	87	8888	1
96011	15/01/2017	9999	31	26.6	85	9999	4
96011	16/01/2017	23.4	31	25.5	90	9999	6.4
96011	17/01/2017	23.2	9999	24.8	90	8	4
96011	18/01/2017	23.2	31.2	26.3	85	5	1
96011	19/01/2017	23	30.6	26.3	85	37	6.3
96011	20/01/2017	23.4	28	25	91	72.8	4.6
96011	21/01/2017	23.4	31	26.6	84	8.2	1
96011	23/01/2017	23.6	27.4	25	92	1.5	3
96011	24/01/2017	9999	28.2	24.2	91	11.4	
96011	25/01/2017	22.6	32	26.9	76	8888	
96011	26/01/2017	23	9999	27	81	9999	4.5
96011	27/01/2017	24.2	31.2	26.6	85	0.9	3.9
96011	28/01/2017	24	30	26.8	80	1.5	3
96011	29/01/2017	22.8	31.8	26.4	81	9999	3
96011	30/01/2017	22	31.4	26.1	82	9999	10
96011	31/01/2017	23	29.6	26.1	82	9999	7

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan Februari 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/02/2017	22.6	32	26.3	82	9999	1.8
96011	02/02/2017	22.6	9999	27.2	79	9999	4.3
96011	04/02/2017	23.8	31.6	26.3	85	1	6
96011	05/02/2017	23.4	31	26.4	81	17	5.5
96011	06/02/2017	23	32	27.1	79	9999	8.6
96011	07/02/2017	23.1	32.2	26.8	83	9999	10.4
96011	08/02/2017	23	31.2	26.8	80	9999	8.7
96011	09/02/2017	23.8	32	26.8	79	9999	2.5
96011	10/02/2017	23.2	31	26.2	77	9999	6
96011	11/02/2017	21.4	31.9	26.3	73	9999	9
96011	12/02/2017	21.6	32	9999	9999	9999	9.3
96011	13/02/2017	23	9999	26.8	80	9999	3.3
96011	14/02/2017	23.5	32.4	27.6	76	1	7.1
96011	15/02/2017	23	32.2	26.6	79	9999	10.5
96011	16/02/2017	23	30.6	26	79	9999	8.5
96011	17/02/2017	22.8	31.6	26.1	80	9999	4.6
96011	18/02/2017	23	31	26.5	79	8888	6.6
96011	19/02/2017	23.2	31.3	26.8	83	3	6.3
96011	20/02/2017	24	31.8	27.1	80	9999	2.5
96011	21/02/2017	24	31.3	27.2	83	5	6
96011	22/02/2017	24	31.6	27	81	9999	6
96011	23/02/2017	22.8	31.6	26.9	82	9999	5.5
96011	24/02/2017	23.6	32.2	26.9	80	8.6	3.8
96011	25/02/2017	23.2	9999	26.1	84	9999	4.4
96011	26/02/2017	23.3	31.4	26.1	87	2.1	3.7
96011	27/02/2017	23.2	32.4	26.7	85	15.7	
96011	28/02/2017	23.2	31.6	26	88	9999	5

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan Maret 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/03/2017	24	33.2	27.6	81	18.4	5.5
96011	03/03/2017	23	30.4	26.5	85	4.2	2.5
96011	04/03/2017	23.4	9999	9999	9999	9999	1
96011	05/03/2017	23.2	31	25	92	7	3.5
96011	06/03/2017	23.2	31.2	26.8	81	24.5	3
96011	07/03/2017	22.8	30	26.8	84	3	5.5
96011	08/03/2017	22	31.8	26.4	83	8888	6.5
96011	09/03/2017	22.4	32.4	27.4	82	9999	8.3
96011	10/03/2017	24.6	32.2	27.9	82	8888	6
96011	11/03/2017	23.8	32.2	27.3	81	9999	7.5
96011	12/03/2017	23.2	32.4	27.1	79	9999	7.5
96011	13/03/2017	21.8	32.4	26.8	78	9999	9
96011	14/03/2017	21.2	32.6	26.2	78	9999	10
96011	15/03/2017	22.2	32.8	27.4	79	9999	
96011	16/03/2017	23.2	32.8	25.9	83	41.3	8.5
96011	18/03/2017	21.8	32.4	28	80	9999	9.5
96011	19/03/2017	22.6	32	26.7	85	1.5	4.5
96011	20/03/2017	21.6	31.6	24.6	86	9999	5.2
96011	21/03/2017	21.8	31.4	26.6	83	98.3	3
96011	22/03/2017	23	32	26.8	81	9999	1.8
96011	24/03/2017	22	33.4	28.3	75	9999	5.5
96011	25/03/2017	23.4	32.2	27.2	79	9999	6.3
96011	26/03/2017	23.4	33	28.1	79	9999	6.6
96011	27/03/2017	24	9999	27.4	87	8888	9
96011	28/03/2017	23.8	32.2	25.7	89	76.5	2.6
96011	30/03/2017	24.2	32.2	27.1	85	8888	1
96011	31/03/2017	24	32.6	27.5	85	18.4	5.5

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data



Data Iklim Harian Bulan April 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/04/2017	23.4	32.4	27.4	82	9999	5
96011	02/04/2017	22.6	32.2	26.3	81	9999	5.6
96011	03/04/2017	22.6	33	27.3	79	9999	4.3
96011	05/04/2017	23.8	32.4	26.8	82	9999	
96011	06/04/2017	23	32.4	27	81	9999	7
96011	07/04/2017	23.8	33	27.5	80	9999	
96011	08/04/2017	23.8	32.4	27.7	80	9999	7.2
96011	09/04/2017	24.4	34.6	26.9	83	9999	6
96011	11/04/2017	23.8	32.8	26.9	85	5.6	3.6
96011	12/04/2017	23.5	32	26	89	2.6	
96011	13/04/2017	23.6	9999	26.6	87	24	
96011	14/04/2017	23.6	33	27.9	80	8.8	2.5
96011	15/04/2017	24.2	34.3	28.3	79	9999	
96011	18/04/2017	22.6	34.3	27.6	79	4	
96011	19/04/2017	9999	33.8	28.1	79	9999	
96011	20/04/2017	23.8	32.6	27.3	83	9999	
96011	21/04/2017	24	33.4	27.6	81	9999	4.7
96011	23/04/2017	24	33.7	27.5	81	9999	4.2
96011	24/04/2017	23	33.4	27.6	80	9999	5.4
96011	25/04/2017	23.8	33	27.7	79	9999	
96011	26/04/2017	23.9	33.2	28.1	79	9999	7.5
96011	27/04/2017	23.8	33.4	27.5	79	9999	8.2
96011	28/04/2017	23.8	31	26.2	86	9999	
96011	30/04/2017	22.8	33	27	82	9999	8

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan Mei 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/05/2017	23.4	33	27.9	81	1.6	5.5
96011	02/05/2017	25	33	27.5	84	1	2.5
96011	03/05/2017	24.2	32.6	26.9	82	2.6	4.1
96011	05/05/2017	23.8	33.8	27.4	82	4	3.2
96011	06/05/2017	23	31.4	27.3	79	9999	5.5
96011	07/05/2017	24	32.8	27.8	77	9999	1.5
96011	08/05/2017	23.8	9999	27.6	82	9999	7.1
96011	09/05/2017	24.2	9999	27.2	82	1.5	4.1
96011	11/05/2017	24	33.2	26.5	86	9999	4
96011	12/05/2017	23.2	31.2	26	88	46.3	5
96011	13/05/2017	23.8	32.6	27.8	78	25.6	4.2
96011	15/05/2017	24.2	33.8	28.1	76	5.6	4.8
96011	18/05/2017	24.2	30.2	26.3	88	15.2	
96011	19/05/2017	24.8	33.4	28	78	12.8	1
96011	20/05/2017	24.9	9999	27.8	84	8888	4.1
96011	21/05/2017	24.8	33.4	28.3	78	14	7.1
96011	24/05/2017	25.2	31.7	27.1	78	6.4	1
96011	25/05/2017	24.2	31.4	27.4	83	6.5	
96011	26/05/2017	25.3	33.6	29.2	70	7.2	
96011	27/05/2017	24.6	9999	9999	9999	9999	7.9
96011	28/05/2017	25	33.4	31.3	56	9999	2
96011	31/05/2017	24	34	28	70	8888	5

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan Juni 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	02/06/2017	24.8	34.6	9999	9999	2.4	7.5
96011	05/06/2017	23.2	33.4	28.6	72	9999	10
96011	06/06/2017	25	9999	9999	9999	9999	1.5
96011	07/06/2017	24.1	35	28	72	9999	
96011	08/06/2017	24	33.5	28.7	74	9999	5.2
96011	10/06/2017	23.2	35.6	28.6	67	9999	9.7
96011	11/06/2017	23.6	35.4	29.4	69	9999	9.8
96011	12/06/2017	25	34.4	27.9	78	9999	10
96011	13/06/2017	23.1	34.8	27.1	79	9999	7.8
96011	16/06/2017	24.4	33.2	28.3	78	9999	5.6
96011	17/06/2017	23.2	33.6	28.3	77	0.2	5.5
96011	18/06/2017	24	34.2	28.2	74	9999	9
96011	19/06/2017	23.9	35.8	29.4	67	9999	4.6
96011	22/06/2017	24.2	34.1	28.4	74	9999	4.6
96011	23/06/2017	23.4	35.4	28.7	72	9999	6.5
96011	24/06/2017	24.6	9999	9999	9999	2.5	3
96011	25/06/2017	23.6	9999	9999	9999	1.7	1.1
96011	26/06/2017	23.6	33.4	27.3	76	8.5	
96011	27/06/2017	23.8	35	28.2	74	9999	2
96011	28/06/2017	23.8	34.4	28.6	73	9999	
96011	29/06/2017	24	34	28	77	4.5	7
96011	30/06/2017	24.2	9999	9999	9999	3.1	7

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan Juli 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/07/2017	24.8	35	9999	9999	8888	2
96011	02/07/2017	24.3	9999	9999	9999	9999	5.5
96011	05/07/2017	24.8	35.9	28.9	73	9999	7.5
96011	06/07/2017	24.4	34.8	28.4	69	9999	
96011	07/07/2017	24.6	33	28.4	65	9999	6.1
96011	08/07/2017	24.6	33.4	28.2	67	9999	2.7
96011	11/07/2017	22.8	33.2	9999	9999	9999	8.7
96011	12/07/2017	23.8	35.8	29.2	62	9999	
96011	13/07/2017	25	35	29.9	58	9999	7.1
96011	14/07/2017	26.4	32.2	28.4	62	5.1	5.2
96011	16/07/2017	26	9999	9999	9999	9999	9.3
96011	17/07/2017	25.5	9999	9999	9999	9999	9.5
96011	18/07/2017	25	36.4	29.9	58	9999	7.3
96011	20/07/2017	24	9999	9999	9999	9999	3
96011	24/07/2017	23.5	9999	9999	9999	9999	10
96011	26/07/2017	24	9999	9999	9999	9999	3.2
96011	29/07/2017	22.8	9999	9999	9999	9999	2
96011	30/07/2017	24.4	33	9999	9999	9999	7.7

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan Agustus 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/08/2017	24	31.8	26.6	78	23.6	1
96011	03/08/2017	23.8	33.1	29	68	9999	7.5
96011	04/08/2017	22.8	9999	9999	9999	10.3	3.5
96011	05/08/2017	23.8	9999	9999	9999	24.3	
96011	06/08/2017	24.2	32.8	27	75	6	3.3
96011	07/08/2017	24	33.6	27.3	77	9999	1.2
96011	09/08/2017	23	33	27	77	3	8.3
96011	10/08/2017	24	33.6	28.1	76	9999	1
96011	11/08/2017	23.5	32	26.9	75	9999	10
96011	12/08/2017	23.6	30.4	26.4	83	9999	1.4
96011	13/08/2017	22.8	33.2	25.9	84	6.5	1
96011	14/08/2017	23	31	25.5	85	0.8	3.6
96011	15/08/2017	23	31	26.9	73	2	
96011	16/08/2017	22.4	32.5	27.6	72	8888	1.3
96011	17/08/2017	24.4	32.4	28	72	9999	4.7
96011	18/08/2017	24	34.8	28.2	78	3	5.1
96011	19/08/2017	23.4	9999	9999	9999	9999	9.7
96011	21/08/2017	23.3	34.8	28.2	71	9999	
96011	22/08/2017	22.6	35.8	29.2	64	9999	10.5
96011	23/08/2017	23.8	36	9999	9999	9999	10.3
96011	24/08/2017	23.4	35	28.9	69	9999	
96011	25/08/2017	23	9999	9999	9999	9999	7
96011	27/08/2017	23.9	31.6	26.7	86	9999	4.9
96011	28/08/2017	22.6	31.9	9999	9999	7.7	2
96011	29/08/2017	23.6	34.2	9999	9999	8888	
96011	31/08/2017	23.4	9999	9999	9999	0.2	6.7

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan September 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	02/09/2017	9999	34	29.1	72	9999	2
96011	03/09/2017	24.2	33	27.4	80	1.6	2
96011	04/09/2017	9999	9999	9999	9999	3	4.2
96011	05/09/2017	22.8	33.6	26.9	80	9999	
96011	06/09/2017	22.6	32.4	26.4	86	10.2	3.2
96011	08/09/2017	23.8	33.2	9999	9999	1	
96011	09/09/2017	22.6	9999	9999	9999	36.8	6
96011	10/09/2017	23.8	9999	9999	9999	1.2	
96011	12/09/2017	23.8	33	27	83	9999	2.4
96011	13/09/2017	9999	32.4	27.9	80	3.1	5.4
96011	15/09/2017	22.6	9999	9999	9999	18.8	
96011	16/09/2017	9999	9999	9999	9999	38	
96011	18/09/2017	24	30.6	9999	9999	0.5	3
96011	21/09/2017	22	32.4	27.3	69	8888	6.5
96011	22/09/2017	9999	9999	9999	9999	6.2	2.5
96011	23/09/2017	23	32	27.4	73	9999	2.1
96011	24/09/2017	22.6	34.2	25.6	83	9999	2
96011	26/09/2017	22.8	30.4	25.8	84	5.2	7.1
96011	27/09/2017	22.6	33.2	28	73	8.5	
96011	28/09/2017	24	32.2	27.5	80	9999	5.5
96011	29/09/2017	23.6	32.4	9999	9999	9999	4.8
96011	30/09/2017	23.6	33.2	26.9	82	1	

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan Oktober 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/10/2017	22.2	33	27.3	78	9999	4.5
96011	02/10/2017	23.3	34.4	27.7	72	9999	7.9
96011	03/10/2017	21.8	33.2	9999	9999	9999	6.3
96011	04/10/2017	22.8	33.2	26	84	9999	2
96011	05/10/2017	22.8	33.4	26.4	85	2.3	7.8
96011	06/10/2017	24	33	26.3	86	9999	8.8
96011	08/10/2017	23	32.6	27.1	80	9999	4
96011	09/10/2017	23.4	31.8	27	81	9999	8.8
96011	10/10/2017	24	9999	9999	9999	9999	3
96011	12/10/2017	23.6	33.2	9999	9999	12.2	
96011	13/10/2017	22.8	32.3	27	77	8888	6
96011	14/10/2017	23.2	34.2	27.9	69	11.4	1.6
96011	15/10/2017	20.4	34.4	26.7	67	9999	9.5
96011	16/10/2017	24	34.6	28.1	66	1	6.3
96011	17/10/2017	23	9999	9999	9999	9999	6.1
96011	18/10/2017	22.4	36	28.3	63	9999	10.4
96011	19/10/2017	19.8	35	27.3	69	9999	10.1
96011	21/10/2017	21.4	35	27.1	73	9999	10.5
96011	22/10/2017	21.4	33.7	26.5	76	9999	11
96011	23/10/2017	21.6	32	27.3	75	9999	10.5
96011	27/10/2017	23.6	31.1	9999	9999	9999	4.5
96011	28/10/2017	23.5	32	26.7	81	8888	
96011	29/10/2017	23.6	9999	9999	9999	8888	3.6

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Data Iklim Harian Bulan Nopember 2017

WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	02/11/2017	23.2	32.6	27.3	81	6.2	2.5
96011	03/11/2017	24	9999	9999	9999	9999	7
96011	04/11/2017	24.6	31	26.8	86	10.3	3
96011	05/11/2017	23.2	31.6	26.6	84	0.7	
96011	07/11/2017	23.8	32.6	27.5	81	9999	
96011	08/11/2017	24	30.6	26.5	84	9999	7
96011	09/11/2017	23.5	33.6	27.7	79	1	2
96011	10/11/2017	24.6	32	27.2	83	9999	5.8
96011	11/11/2017	23.4	31	27	81	9.6	4
96011	14/11/2017	24.3	32.9	27.6	81	9999	6.1
96011	15/11/2017	24	31.4	27.1	80	9999	
96011	16/11/2017	24.8	30.2	26.7	88	9999	3.3
96011	17/11/2017	23.6	32.8	27.1	82	1	2.1
96011	18/11/2017	23.8	32.6	27.4	85	9999	6.8
96011	19/11/2017	23.8	32	27.6	78	9.4	3.5
96011	20/11/2017	23	32.6	27.1	82	9999	2.5
96011	21/11/2017	23	32.6	27.3	82	9999	9
96011	23/11/2017	23.6	31.6	25	90	20.6	2.1
96011	24/11/2017	24	31.4	25.6	89	63.6	2
96011	25/11/2017	23.4	28	24.1	95	47.2	4.6
96011	26/11/2017	23.4	29.2	25.4	90	56.9	2.3
96011	27/11/2017	23.8	29.8	25	93	31.8	2.2
96011	28/11/2017	23.6	27.5	25.2	92	77.5	2.4
96011	29/11/2017	23	29.6	25.3	89	8888	
96011	30/11/2017	23.4	27.6	9999	9999	22.7	

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data



Data Iklim Harian Bulan Desember 2017

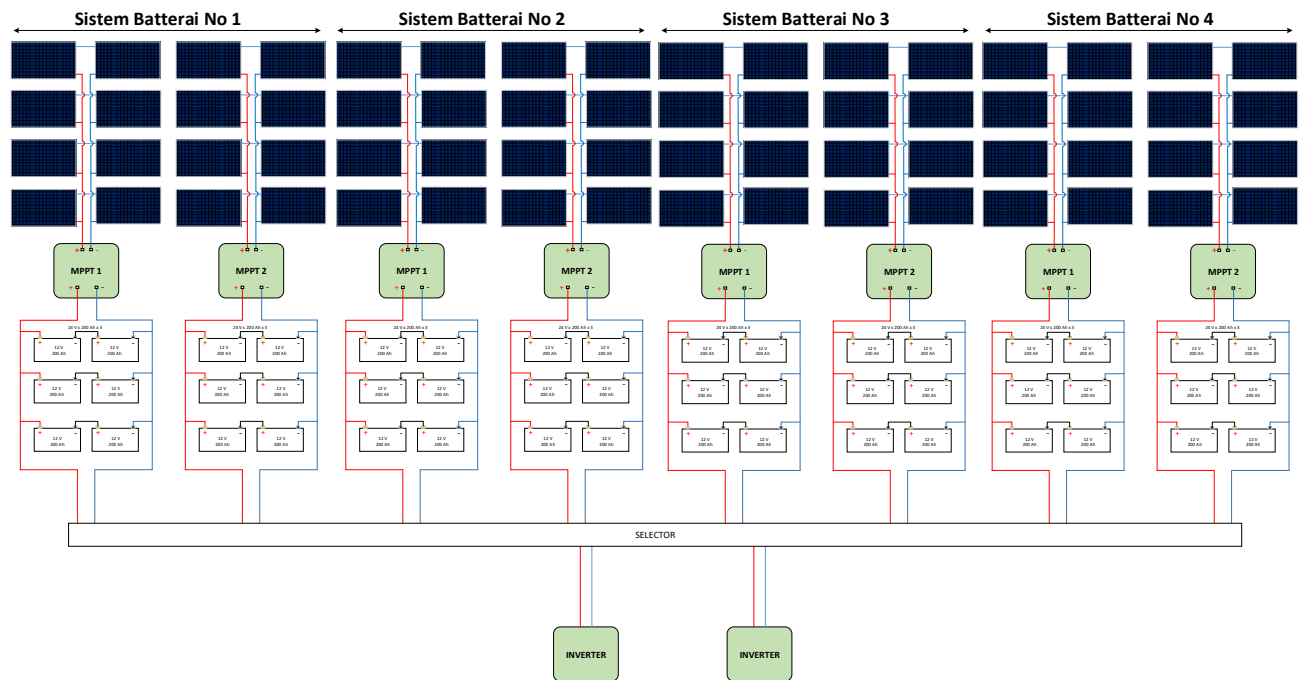
WMO ID	Tanggal	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Rata-rata (%)	Curah Hujan (mm)	Lama Penyinaran (jam)
96011	01/12/2017	22.8	26.8	24.4	94	53.7	
96011	02/12/2017	23	28.1	25.1	92	161.3	
96011	03/12/2017	23.4	29.8	25.7	91	127.9	
96011	04/12/2017	23.4	29.8	25.4	93	1	2.4
96011	05/12/2017	24	29	26.3	89	25.6	2.4
96011	06/12/2017	24	31.6	26.8	84	9999	
96011	07/12/2017	24	32.4	26.8	85	6.7	2.2
96011	08/12/2017	23.2	9999	26	88	8888	3
96011	09/12/2017	23.8	32.2	26.5	86	18.3	2
96011	10/12/2017	23.8	30.8	26.6	82	1.2	5
96011	11/12/2017	23.7	31.5	26.7	84	10.4	2.2
96011	12/12/2017	24	31.6	26.7	82	9999	5.5
96011	13/12/2017	23	31.8	26.5	80	9999	4.8
96011	14/12/2017	23	31.4	26.9	82	9999	
96011	15/12/2017	23	32.4	27.1	79	9999	5.8
96011	16/12/2017	24.2	32	26.9	83	9999	8.8
96011	17/12/2017	22.4	9999	26.8	82	0.5	7
96011	18/12/2017	23.4	29.4	25.3	87	9999	5
96011	19/12/2017	23.6	29.4	25.6	90	8888	1.3
96011	20/12/2017	23.4	30	25.1	91	123.5	2.1
96011	22/12/2017	23.4	31.5	26.7	79	1	2.1
96011	23/12/2017	23	29.6	26.3	85	1.3	8
96011	24/12/2017	24.2	9999	9999	9999	5.9	1.2
96011	27/12/2017	22.8	31.6	26.5	80	9999	
96011	29/12/2017	23.6	9999	9999	9999	9999	7.5
96011	30/12/2017	24	31.4	9999	9999	9999	2
96011	31/12/2017	23.8	29.7	9999	9999	3.8	

Keterangan :

\*8888 : Data tidak terukur

\*9999 : Tidak ada data

Lampiran 2. Konfigurasi pemanfaatan energi matahari dengan sistem *Off-Grid*.

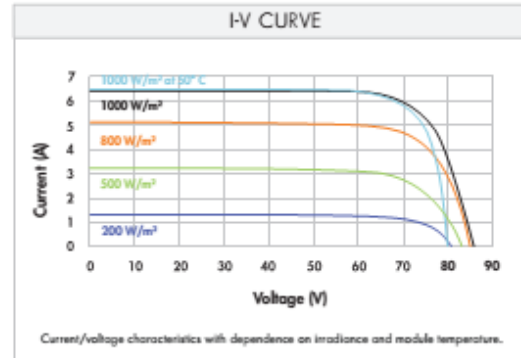


### Lampiran 3. Spesifikasi Solar panel

MODEL: SPR-435NE-WHT-D

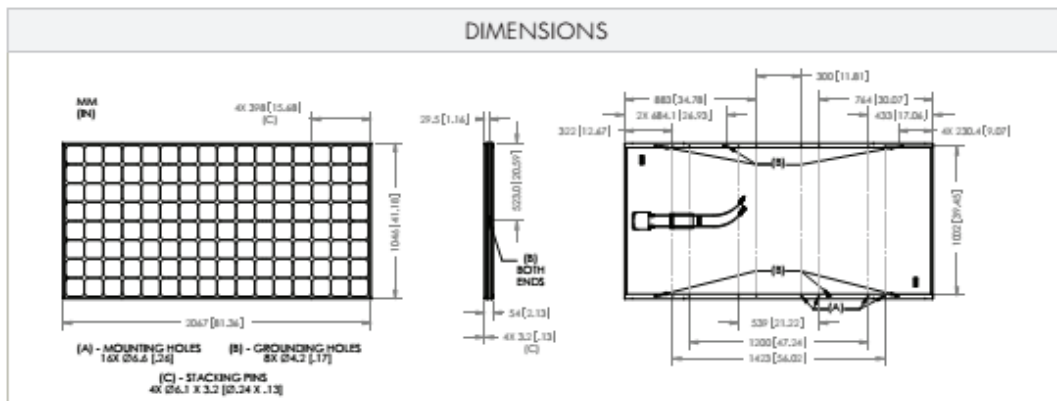
ELECTRICAL DATA		
<i>Measured at Standard Test Conditions (STC): irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, and cell temperature 25° C</i>		
Peak Power (+/- 5%)	$P_{max}$	435 W
Cell Efficiency	$\eta$	22.5 %
Panel Efficiency	$\eta$	20.1 %
Rated Voltage	$V_{mpp}$	72.9 V
Rated Current	$I_{mpp}$	5.97 A
Open-Circuit Voltage	$V_{oc}$	85.6 V
Short-Circuit Current	$I_{sc}$	6.43 A
Maximum System Voltage	UL	600 V
Temperature Coefficients	Power (P)	- 0.38%/K
	Voltage ( $V_{oc}$ )	- 235.5 mV/K
	Current ( $I_{sc}$ )	3.5 mA/K
NOCT		45° C +/- 2° C
Series Fuse Rating		20 A
Grounding	Positive grounding not required	

MECHANICAL DATA	
Solar Cells	128 SunPower Maxeon™ cells
Front Glass	High-transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes Dimensions: 32 x 155 x 128 mm
Output Cables	700 mm cables / Multi-Contact (MC4) connectors
Frame	Anodized aluminum alloy type 6063 (silver); stacking pins
Weight	56.0 lbs. (25.4 kg)



TESTED OPERATING CONDITIONS	
Temperature	- 40° F to +185° F [- 40° C to + 85° C]
Max load	113 psf 550 kg/m <sup>2</sup> (5400 Pa), front (e.g. snow) w/specified mounting configurations 50 psf 245 kg/m <sup>2</sup> (2400 Pa) front and back (e.g. wind)
Impact Resistance	Hail: (25 mm) at 51 mph (23 m/s)

WARRANTIES AND CERTIFICATIONS	
Warranties	25-year limited power warranty 10-year limited product warranty
Certifications	Tested to UL 1703. Class C Fire Rating



Please read safety and installation instructions before using this product, visit [sunpowercorp.com](http://sunpowercorp.com) for more details.

© 2011 SunPower Corporation. SUNPOWER, the SunPower logo, and THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR, and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation in the US and other countries as well. All Rights Reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

[sunpowercorp.com](http://sunpowercorp.com)  
Document #001-65754 Rev A / ES\_EN  
CS 11\_2018

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Desa Pulau Gambar, Kecamatan Serbajadi, Kabupaten Serdang Bedagai pada tanggal 13 April 1981 dan merupakan anak pertama dari lima bersaudara dari pasangan alm. Jusban dan almh. Surya. Setelah menyelesaikan pendidikan di SMA Negeri 1 Lubuk Pakam pada tahun 2000, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta dengan Program Studi Permesinan Perikanan dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2004. Setelah menyelesaikan pendidikan Diploma-IV tersebut penulis bekerja sebagai kru kapal pengangkut ikan pada KM. Mitramas milik perusahaan PT. Ocean Mitramas. Pada tahun 2008 penulis diterima sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) pada Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia staf pengajar pada Unit Pelaksana Teknis Sekolah Usaha Perikanan Menengah (SUPM) Ladong, Aceh.

Pada tahun 2016 penulis diberi kesempatan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan RI untuk melaksanakan tugas belajar di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Fakultas Teknologi Kelautan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tesis yang berjudul **"Perancangan *Static Phase Converter* Untuk Motor Listrik Penggerak Kincir Tambak Udang Dengan Memanfaatkan Tenaga Surya Di Aceh"**. Masukan dan saran dapat disampaikan melalui email : [darmawan@kkp.go.id](mailto:darmawan@kkp.go.id)